

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

**MODELOVANIE ERÓZIE SPÔSOBENEJ
TOPENÍM SNEHOVEJ POKRÝVKY
V POVODÍ RIEKY OSTRAVICE**

Bakalárska práca

Autor:
Vedúci bakalárskej práce:

Jakub Chovan
Ing. Peter Bobál'

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Chovan**
Studijní program: B3646 Geodézie a kartografie
Studijní obor: 3646R006 Geoinformatika
Téma: **Modelování eroze způsobené táním sněhové pokrývky**
Modelling of Erosion Caused by Snowmelt

Zásady pro vypracování:

1. Seznámit se s problematikou erozního modelování při tání sněhové pokrývky
2. Získání a popis datových vstupů
3. Zpracování vstupních vrstev a tvorba sekundárních vrstev
4. Výběr a simulace vybrané epizody
5. Dokumentace a zhodnocení výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

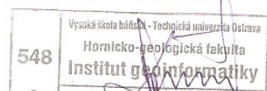
1. JANEČEK, Miloslav, et al. Ochrana zemědělské půdy před erozí. 1. vyd. Praha : ISV nakladatelství, 2002. 202 s. ISBN 85866-85-8.
2. HOLÝ, Miloš. Eroze a životní prostředí. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1994. 383 s. ISBN 80-01-01078-3.
3. TOLASZ, Radim, et al. Atlas podnebí Česka. Praha : ČHMÚ, Olomouc : UP, 2007. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1(ČHMÚ), ISBN 978-80-244-1626-7(UP).
4. BEDIENT, P.B., HUBER, W.C. et VIEUX, B.C. Hydrology and Floodplain Analysis. 4th edition. Prentice Hall, London, 2007, 795 s., ISBN: 978-0131745896

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Peter Bobál**

Datum zadání: 31.10.2010

Datum odevzdání: 30.04.2011



prof. Ing. Zdeněk Diviš, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

PREHLASUJEM, ŽE

- *Celú bakalársku prácu vrátane príloh, som vypracoval samostatne a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.*
- *Bol som oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, hlavne § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 – školské dielo.*
- *Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo, pre svoju vnútornú potrebu, bakalársku prácu použiť (§ 35 odst. 3).*
- *Súhlasím s tým, že jeden výtlačok bakalárskej práce bude uložený v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho bakalárskej práce. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci, obsiahnuté v Zázname o záverečnej práci, umiestenom v prílohe mojej bakalárskej práce, budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.*
- *Bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z ich strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bolo zjednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).*

V Ostrave dňa 7.3. 2011

.....
Jakub Chovan

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa chcel poďakovať najmä vedúcemu práce Ing. Petrovi Bobál'ovi za poskytnuté konzultácie a za pomoc pri vypracovaní mojej bakalárskej práce. Rovnako by som sa chcel poďakovať aj Ing. Mirke Mrázkovej z ČHMÚ za ochotu a poskytnutie niektorých potrebných údajov. Poďakovanie patrí aj Ing. Davidovi Vojtekovi, Ph.D. za konzultáciu a pomoc pri spracovaní mapových výstupov. V neposlednej rade by som chcel poďakovať rodičom, rodine a kamarátom, ktorí mi pomáhali a podporovali ma a bez ktorých by som túto prácu nezvládol dokončiť.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá modelovaním erózie spôsobenej topením snehu použitím metódy RUSLE (revidovaná univerzálna rovnica straty pôdy) upravenej na modelovanie tohto druhu erózie a zhodnocuje účinok erózie spôsobenej topením snehu na zvolenom území.

Práca pozostáva z vymedzenia a stručnej charakteristiky zvolenej záujmovej oblasti. Ďalej sa zaoberá problematikou erózie vo všeobecnosti a hlavne eróziou spôsobenou topením snehu. V ďalšej časti sa práca zaoberá modelovaním erózných procesov, popisom modelu RUSLE a jeho upravenej verzie a samotným modelovaním erózie. Záver hodnotí výsledky modelu a vplyv erózie z topenia snehu na zvolenom území.

Kľúčové slová: RUSLE, sneh, erózia, topenie

Abstract

Bachelor's thesis deals with modeling of erosion caused by snowmelt using RUSLE (revised universal soil loss equation) modified for modeling this kind of erosion and estimating the effect of erosion caused by snowmelt in selected area.

The work consists of allocation and brief characteristics of the selected area of interest. Further it deals with erosion issue in general and mainly erosion caused by snowmelt. Next part of this work deals with modeling of erosion processes, description of RUSLE and its modified version and erosion modeling itself. In conclusion it evaluates modeling results and impact of erosion caused by snowmelt on soil in selected area.

Keywords: RUSLE, snow, erosion, snowmelt

OBSAH

ZOZNAM SKRATIEK	8
ÚVOD	9
1 CIELE BAKALÁRSKEJ PRÁCE	10
2 POUŽITÝ SOFTWARE A DÁTA	11
2.1 Použitý software.....	11
2.2 Použité dáta	12
3 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA ZÁUJMOVEJ OBLASTI	15
4 PROBLEMATIKA ERÓZIE Z TOPENIA SNEHU	18
4.1 Erózia pôdy.....	18
4.2 Faktory ovplyvňujúce erózne procesy.....	19
4.3 Druhy erózie	19
4.3.1 Erózia spôsobená topením snehovej pokrývky	23
4.4 Dôsledky erózie.....	27
5 MODELOVANIE ERÓZNYCH PROCESOV	28
5.1 Druhy erózných modelov.....	28
6 MODEL RUSLE.....	31
6.1 Model <i>RUSLE</i> upravený pre eróziu z topenia snehu	32
6.1.1 Faktor K	32
6.1.2 Faktor C	34
6.1.3 Faktor LS.....	34
6.1.4 Faktor P.....	36
6.1.5 Faktory k, SZP.....	37
6.1.6 Faktor h.....	37
6.1.7 Faktor m.....	39
7 VÝBER EPIZÓDY	40
8 SPRACOVANIE VSTUPNÝCH DÁT A TVORBA VÝSTUPOV	46
9 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV	52
10 ZÁVER.....	53
ZOZNAM ZDROJOV	54
ZOZNAM TABULIEK	57

ZOZNAM GRAFOV	57
ZOZNAM OBRÁZKOV	58
ZOZNAM PRÍLOH	59

ZOZNAM SKRATIEK

AGNPS - Agricultural Non-Point Source Model
ANIMO - Agricultural Nitrogen Model
ASCII - American Standard Code for Information Interchange
BPEJ - Bonitovaná pôdno-ekologická jednotka
CORINE - Coordination of Information on the Environment
ČHMÚ - Český hydrometeorologický ústav
DEM - Digital Elevation Model
ESRI - Economic and social research institute
EUROSEM - European soil erosion model
GRASS - Geographical Resources Analysis Support System
HPJ - Hlavná pôdna jednotka
IWAN - Integrated Winter erosion And Nutrient load model
MKSP - Morfogenetický klasifikačný systém pôd
MUSLE - Modifikovaná univerzálna rovnica straty pôdy
RUSLE - Revidovaná univerzálna rovnica straty pôdy
SHE - Système Hydrologique Européen
SMEM - Snowmelt Erosion Model
SVH - Vodná hodnota snehu
ÚHÚL - Ústav pro hospodářskou úpravu lesů
USLE - Univerzálna rovnica straty pôdy

ÚVOD

Pôda ako najvrchnejšia časť zemskej kôry patrí k najzákladnejším potrebám ľudskej spoločnosti rovnako ako vzduch alebo voda. Pôda poskytuje ľuďom priestor pre pestovanie rastlín, chov dobytka, a teda poskytuje ľuďom obživu. Okrem obživy poskytuje priestor, kde môžu ľudia žiť, stavať svoje príbytky. Je zdrojom nerastných surovín, podzemnej vody. Pôda je teda pre existenciu života na Zemi nevyhnutná.

Pôda bola oddávna využívaná najmä pre jej úrodnosť. Pri snahe dosiahnuť čo najvyššiu úrodnosť sa často používajú rôzne metódy a postupy, ktoré pôdu znehodnocujú. Hrozba degradácie pôdy zatiaľ u verejnosti nezískala toľko pozornosti ako napríklad hrozby týkajúce sa vody alebo vzduchu. Tento pojem vo všeobecnosti znamená stratu nejakej funkcie alebo schopnosti. Z hľadiska pôd teda znamená stratu alebo zníženie úrodnosti pôdy. K degradácii pôd dochádza hlavne v dôsledku znečistenia pôd a erózie. Erózia často spôsobí úplnú stratu úrodnosti. Erózia môže byť prirodzená alebo vyvolaná človekom, teda antropogénna. Táto erózia vzniká v dôsledku nesprávneho obrábania pôdy alebo narúšania rastlinného krytu. To spôsobuje zrýchlenie vodnej a veternej erózie. V našich podmienkach sa najčastejšie vyskytuje vodná erózia.

Ďalším druhom erózie, ktorý je rovnako spôsobený vodou, aj keď v inom skupenstve, je erózia spôsobená topením snehovej pokrývky. Táto práca sa zaoberá práve týmto druhom erózie a jej vplyvom na odnesenú pôdu, intenzitou erózie spôsobenej topením snehu a lokalizáciou ohrozených pôd na vybranom území.

1 CIELE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Hlavný cieľ práce je možné čiastočne určiť už z názvu bakalárskej práce: Modelovanie erózie spôsobenej topením snehovej pokrývky v povodí rieky Ostravice. Pri opakovanom zamŕzaní a rozmŕzaní pôdy a následnom topení snehu dochádza k rozrušovaniu pôdných častíc a ich následnému odnosu vodou z roztopeného snehu, a teda dochádza k erózii spôsobenej topením snehu. Aj keď tento druh erózie nenadobúda takej intenzity ako napríklad erózia vodná alebo veterná, netreba jej vplyv podceňovať.

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce je teda, s použitím vybraného erózneho modelu schopného modelovať tento druh erózie, určiť vplyv erózie spôsobenej topením snehu vo vybranom území a zhodnotiť jej vplyv na odnos pôdy a intenzitu. S určením vplyvu erózie sa spája ďalší cieľ, ktorým je zoznámenie sa s problematikou erózie spôsobenej topením snehu a problematikou modelovania tohto druhu erózie. Ďalším cieľom je zhodnotiť podmienky pre výskyt erózie tohto druhu a z výsledkov modelovania identifikovať oblasti, v ktorých dosahuje erózia najväčšiu intenzitu. K cieľom je možné zaradiť aj výber epizódy, teda obdobia, pre ktoré sa samotné modelovanie vykonáva. Dôležité je aj spracovanie vstupných dát a vytvorenie sekundárnych vrstiev a následnej spracovanie výstupov jednotlivých vstupov aj výsledku.

2 POUŽITÝ SOFTWARE A DÁTA

2.1 Použitý software

ArcGIS

ArcGIS je platforma firmy ESRI, najväčšieho svetového výrobcu software pre GIS, ktorá predstavuje riešenia geografických informačných systémov rozšírené a podporované na celom svete. ArcGIS je tvorený sadou produktov, s pomocou ktorých je možné vystavať si GIS podľa vlastných potrieb. ArcGIS Desktop je profesionálny nástroj, ktorý v sebe spája tri úrovne (licencie), ktoré sa líšia rôznou funkcionalitou: ArcView, ArcEditor a ArcInfo.

ArcView - poskytuje rozsiahle nástroje pre tvorbu máp a získavanie informácií z máp a jednoduché nástroje pre editáciu a priestorové operácie. [24]

ArcEditor - má plnú funkcionalitu ArcView a navyše rozšírené editačné možnosti pre geodatabázu a shapefile. [24]

ArcInfo - obohacuje funkcionalitu oboch predchádzajúcich produktov o rozšírené priestorové operácie. [24]

Počas spracovávania bakalárskej práce bol využívaný ArcGIS Desktop verzie 9.3. Tento software som použil hlavne na prípravu a spracovanie vstupných vrstiev do modelu a taktiež pre vizualizáciu výsledkov.

GRASS GIS

GRASS GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*) je voľne šíriteľný geografický informačný systém pre správu dát, spracovanie obrázkov, priestorové modelovanie a vizualizáciu rôznych typov dát. [29] Je šírený pod licenciou GNU General Public License (GPL) a je dostupný na viacerých platformách zahŕňajúc Microsoft Windows, Mac OS X a Linux. GRASS je oficiálnym projektom Open Source Geospatial Foundation.

Systém GRASS bol na začiatku vyvíjaný pre vojenské účely americkou armádou, ktorá neskôr celý softwarový balík aj so zdrojovým kódom poskytla verejnosti. Dnes je GRASS využívaný ako v akademickej tak aj v komerčnej sfére. Po tom ako americká armáda ustúpila z projektu, ujal sa ho GRASS Development Team na Baylor University v Texase, ktorý ho vyvíja dodnes. Najnovšia verzia GRASS 6 predstavuje nový typologický 2D/3D vektorový engine a podporu pre vektorové sieťové analýzy a tiež možnosť zobrazovať 3D vektorové dáta. [29]

Pri spracovaní mojej bakalárskej práce bol GRASS GIS využitý pri spracovaní jednej z vstupných vrstiev dôležitej pre model. Tento software bol použitý hlavne preto, že v programe ArcGIS je postup pre spracovanie konkrétnej vrstvy zložitý a v GRASSe sa nachádza nástroj, ktorým je možné danú vrstvu spracovať jednoduchšie.

MS Excel

MS Excel predstavuje najpoužívanejší tabuľkový kalkulátor. Je súčasťou balíčka MS Office od Microsoftu. Najpoužívanejšími funkciami sú pravdepodobne tvorba tabuliek a grafov. Okrem toho je v ňom možné analyzovať údaje, tvoriť zoznamy, vykonávať rôzne výpočty a podobne. Má široké uplatnenie od štatistiky cez management až po domáce použitie.

Pri spracovaní mojej bakalárskej práce bol najviac využívaný pre tvorbu tabuliek a grafov a tiež pre spracovanie niektorých vstupných dát pre potreby ich ďalšieho spracovania.

2.2 Použité dáta

Praktická časť spracovania mojej bakalárskej práce by nebola možná bez vstupných dát a vrstiev, na ktorých je erózne modelovanie závislé. Pri vytváraní vstupných vrstiev do modelu som sa stretol s potrebou rôznych druhov údajov, počnúc dátami o pôdach, vegetačnom kryte cez digitálny model terénu, až po údaje o vodnej hodnote a výške snehu. Pracoval som s dátami vektorovými aj rastrovými. Dát o pôdach a digitálny model terénu mi boli poskytnuté z projektu Floreon+. Dáta o snehu bolo potrebné získať od inštitúcií, ktoré sa venujú danej problematike. Dostupnosť dát mala určitý vplyv aj na výber spracovávaného územia. Povodie Ostravice bolo zvolené aj preto, že sa nepredpokladal problém s dostupnosťou všetkých potrebných údajov pre toto územie.

Dáta o snehu

Asi najdôležitejším typom dát pri spracovaní mojej bakalárskej práce sú dáta týkajúce sa snehu. Keďže pre modelovanie erózie spôsobenej topením snehu je potrebné určiť rýchlosť topenia snehu a množstvo vody, ktoré vzniklo pri topení, bolo potrebné získať údaje o vodnej hodnote snehovej pokrývky. Rýchlosť topenia snehu a množstvo snehu, ktoré vstupujú do modelu, sú určené pre epizódu, kedy je topenie snehu najintenzívnejšie. Tieto dáta mi boli poskytnuté z dvoch zdrojov, z Ústavu pre hospodársku úpravu lesov Brandýs nad Labem (ÚHÚL) a z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Z ÚHÚL mi boli poskytnuté dáta o vodnej hodnote snehu pre dané územie, ktoré boli použité ako doplnkové a spresňujúce dáta. Dáta z ČHMÚ mi boli pre rok 2009 poskytnuté v digitálnej forme ale pre rok 2006 nie. Tieto dáta bolo potrebné nafotiť zo správ z jednotlivých klimatologických staníc, uložených v archíve, viď obrázok 1. So získaním dát o snehu sa spája ďalší typ dát. Ide o bodovú vrstvu klimatologických staníc. Z týchto staníc boli vybrané tie, ktoré ležia v povodí rieky Ostravice a v jeho blízkom okolí. Z nich mi boli následne z ČHMÚ poskytnuté údaje pre tie stanice, ktoré majú v archíve alebo v databáze. Pre povodie Ostravice je to 13 staníc: Bílá, Havířov - Bludovice, Čeladná, Olešná, Lučina, Lubno, Lysá hora, Paskov, Raškovice, Morávka, Šance, Staré Hamry a Visaláje. Z okolitých staníc boli použité Ostrava - Poruba, Karviná, Bumbálka, Horní Bečva, Hukvaldy.

[illegible]

Obrázok 1: Správa z klimatologickej stanice s údajmi o výške a vodnej hodnote snehu



Obrázok 2: Archív oddelenia klimatológie a meteorológie ČHMÚ Ostrava - Poruba

Pôdy

Dáta o pôdach mi boli poskytnuté vo vektorovej vrstve vo formáte ESRI shapefile. V tejto vrstve sú zobrazené jednotlivé pôdne typy vo forme polygónov v mierke 1:400 000. Rozdelenie pôdných typov odpovedá rozdeleniu MKSP (Morfogenetický klasifikačný systém pôd) pre Českú republiku. Dáta pochádzajú z projektu Floreon+. S pôdami sa spája aj ďalší typ dát, ktorý bol potrebný pri vypracovaní mojej bakalárskej práce. Týmito dátami sú teploty pôd. Dáta mi boli poskytnuté z ČHMÚ. V povodí rieky Ostravice sa teploty pôdy merajú len na troch staniciach: Lysá hora, Lučina a Ostrava - Poruba. Údaje o teplotách pôdy mi, rovnako ako údaje o snehu pre rok 2006, neboli poskytnuté v digitálnej podobe.

Výsledný výkaz měření teploty půdy													Stations			Zpracováno			01.03.2006		
Únor 2006						Stanice						11787			Lysá hora						
Všechny hodnoty jsou uvedeny ve °C, promrznutí v cm																					
Hloubka 5 cm			Hloubka 10 cm			Hloubka 20 cm			Hloubka 50 cm			Hloubka 100 cm			Prom.			tr			
07	14	21	07	14	21	07	14	21	07	14	21	07	14	21	07	14	21	07	14	21	
0,5	0,5	0,5	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,3	0,3	0,3	1,3	1,2	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,4	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,5	-0,2	-0,5	-0,4	0,3	0,3	0,3	1,3	1,2	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,4	-0,3	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,4	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,1	-0,3	-0,2	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,4	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	1,4	1,4	1,4								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	1,4	1,4	1,4								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,4	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	1,3	1,3	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,4	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,3	1,4	1,3								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,3	1,2	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,2	-0,1	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,2	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,2	-0,3	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,4	0,5	0,4	-0,3	-0,2	-0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,3	-0,2	-0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,4	-0,1	-0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	1,2	1,1	1,2	1,2								
0,5	0,5	0,5	-0,4	-0,3	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2								
0,4	0,5	0,4	-0,4	-0,2	-0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	1,2	1,1	1,2	1,2								
0,4	0,5	0,5	-0,5	0,0	-0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	1,2	1,1	1,1	1,1								

Obrázok 3: Správa s hodnotami teploty pôdy



Obrázok 4: Archív oddelenia klimatológie a meteorológie ČHMÚ Ostrava - Poruba

Vegetačný kryt

Tieto dáta je možné získať voľne z internetu. Je to vektorová vrstva vo formáte ESRI shapefile, v ktorej sú prostredníctvom polygónov zobrazené jednotlivé typy vegetačného krytu rozdelené podľa kódu CODE_06. To znamená, že sú to dáta z databázy CORINE Land Cover 2006.

CORINE Land Cover je projekt, ktorého úlohou je tvorba databázy krajinného pokryvu Európy na základe jednotnej metodiky a pravidelná aktualizácia databázy. Databázu tvoria polygóny, ktoré vznikli interpretáciou družicových snímok. Tieto snímky boli vyhotovené v príslušnom roku. Výstupom sú mapy vegetačného krytu v mierke 1:100 000, ktoré obsahujú 44 tried vegetačného krytu. [26]

Digitálny model terénu

Pri eróznom modelovaní je potrebné poznať dĺžku a sklon svahov. K určeniu týchto dvoch charakteristík územia bol potrebný digitálny model reliéfu, ktorý zobrazuje výškové pomery v povodí rieky Ostravice. Priestorové rozlíšenie rastrového digitálneho modelu terénu, ktorý rovnako ako pôdy pochádza z projektu Floreon+, je 100 m².

3 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA ZÁUJMOVEJ OBLASTI

Pri výbere sa prihliadalo hlavne na dostupnosť dát, na ktorých je erózne modelovanie závislé. Ako záujmová oblasť bolo zvolené povodie rieky Ostravice. K hlavným dôvodom výberu tohto územia patrí určite to, že je to hornaté povodie s častým výskytom snehu. Na značnej časti celkového ročného odtoku vody z povodia sa podieľa práve voda z roztopeného snehu. Jedným z hlavných dôvodov výberu bola práve dostupnosť dát pre spracovanie práce.

Povodie rieky Ostravice sa rozprestiera na východe Českej republiky v Moravskoslezskom kraji na území troch okresov: Ostrava - město, Karviná a Frýdek - Místek, viď mapová príloha (mapa 1). Má tiež spoločnú hranicu so Slovenskou republikou. Patrí do územia povodia rieky Odry. Tvorí oblasť s plochou 827,4 km², z ktorej steká povrchová voda do rieky Ostravice.

Aj napriek svojej nie veľkej rozlohe je plocha povodia relatívne členitá z hľadiska nadmorských výšok. Rozdiel medzi najvyšším bodom (Lysá hora - 1323 m n. m.) a najnižším bodom povodia (bod, kde sa Ostravice vlieva do Odry) je 1125 m. Južnú hornatú časť povodia Ostravice tvoria dominantné Moravskoslezské Beskydy, ktoré tvoria Karpatskú časť povodia. Tu sa tiež nachádza najvyšší vrchol, Lysá hora - 1323 m n. m.. Táto časť povodia bola vytvorená geologicky mladšími horotvornými procesmi. V období treťohôr došlo k vrásneniu a vznikol alpsko-karpatský systém. Tým bola taktiež vytvorená základná štruktúra Beskyd, pretože v dôsledku vrásnenia sa do okrajových častí nasunuli príkrovy tvorené flyšovými horninami. Postupne smerom na sever sa nadmorské výšky znižujú a Beskydy prechádzajú cez Podbeskydskú pahorkatinu až do najnižšej časti povodia, ktorá je tvorená Ostravskou panvou. V Ostravskej panve sa stretáva rieka Ostravice s riekou Odra v Ostrave - Hrušove vo výške 204 m n. m.. Na dnešný tvar Ostravskej panvy mal v období štvrtohôr veľký vplyv pevninský ľadovec, ktorý sa v tomto období dostal až k Moravskej bráne. V tomto období bola taktiež obnažená časť karbonského súvrstvia, ktorá vytvára ostravsko-karvinský chrbát. Táto oblasť sa stala významnou oblasťou ťažby čierneho uhlia. [5]

Z hľadiska geologického zloženia je povodie Ostravice v hornatejších častiach prevažne tvorené flyšovými sedimentmi (ílovce a pieskovce), v nižších oblastiach eolickými sedimentmi (spraše, sprašové hliny) a v okolí väčších riek fluvialnými sedimentmi (povodňové hliny, íl, štrky). [5] V južnej (hornej) časti povodia sú prevládajúcim pôdnym typom silno kyslé typické kambizeme a vo vyšších polohách pôdy označované ako kryptopodzoly. Fakt, že táto oblasť je tvorená druhohornými a treťohornými usadeninami spôsobuje to, že v tejto oblasti sú pôdy silne ohrozené eróziou. Erózia sa prejavuje najmä pri prívalových dažďoch, kedy sú častice vzniknuté zvetrávaním pieskovcov a bridlíc odplavované. Stredná časť povodia, ktorá sa rozprestiera v Podbeskydskej pahorkatine, je tvorená prevažne pôdnymi typmi ako sú fluvizeme, fluvizeme glejové, pseudogleje luvizemné a kambizeme typické a pseudoglejové. V severnej (dolnej) časti povodia, ktorá sa nachádza na Ostravskej panve, prevládajú typické a glejové fluvizeme. Keďže v horných častiach povodia dochádza k vytváraniu

splavenín, v stredných a spodných častiach nastávajú problémy s transportom týchto splavenín. [31] [5]

Z hľadiska vegetácie a typu krajiny je povodie Ostravice v hornej časti pokryté prevažne ihličnatými lesmi, po nich majú najväčšie zastúpenie zmiešané lesy. Postupným prechodom z Moravskoslezských Beskýd do Frýdeckej pahorkatiny prechádza aj krajina z ihličnatých a zmiešaných lesov do prevažne poľnohospodárskej krajiny so zastúpením ako prirodzenej vegetácie tak aj ornej pôdy.

Podnebie v povodí Ostravice je charakterizované celkovou povahou európskeho mierneho pásma. Podnebie je striedavo ovplyvňované zo západu pôsobiacou oceánskou klímou a z východu pôsobiacou kontinentálnou klímou. [5] Horná časť povodia je z klimatického hľadiska chladná a vyznačuje sa relatívne vysokými zrážkami. Priemerné ročné teploty sa v tejto časti povodia pohybujú v rozmedzí 5-6 °C. Stredná a spodná časť povodia je označovaná za mierne teplú oblasť. Priemerné ročné teploty sa tu pohybujú v rozmedzí 7-9 °C. Charakteristiky jednotlivých klimatických oblastí pre jednotlivé časti povodia sú uvedené v tabuľke 1. [3]

Tabuľka 1: Charakteristiky klimatických oblastí [32]

Chladné oblasti	Časť povodia	Leto	Zima	Prechodné obdobia
CH4	juh	veľmi krátke, chladné, vlhké	veľmi dlhá a chladná, vlhká, veľmi dlhé trvanie snehovej pokrývky	veľmi dlhé, chladná jar, mierne chladná jeseň
Mierne teplé oblasti	Časť povodia	Leto	Zima	Prechodné obdobia
MT2	stred	krátke, mierne až mierne chladné, mierne vlhké	normálne dlhá, mierne teploty, suchá, normálne trvanie snehovej pokrývky	krátke, mierna jar, mierna jeseň
MT10	sever	dlhé, teplé, mierne suché	krátka, mierne teplá, veľmi suchá, krátke trvanie snehovej pokrývky	krátke, mierne teplá jar, mierne teplá jeseň

V Beskydskej časti povodia je závislosť zrážok na nadmorskej výške výrazná. Beskydy sa radia k jedným z najbohatších oblastí v Českej republike z hľadiska zrážok. Priemerný úhrn zrážok sa vo vyšších polohách povodia pohybuje v rozmedzí 1000-1200 mm za rok a snehová pokrývka sa tu udržiava 100 až 160 dní v roku. V nižších oblastiach je to 700 – 1000 mm za rok a so snehovou pokrývkou počas 50 až 80 dní. Priemerne sa najvýdatnejšie zrážky vyskytujú na Lysej hore (1565 mm). Taktiež tu bol zaznamenaný najvyšší úhrn zrážok v roku 1903 a to 2253 mm. Z celého územia povodia sa snehová pokrývka najdlhšie udrží práve na Lysej hore. Sneh je tu možné pozorovať od septembra do júna a jeho priemerná výška je 189,1 cm. [5] [3]

Tabuľka 2: Priemerné ročné a povodňové storočné prietoky vo vybraných profiloch niektorých tokov povodia Ostravice v $m^3 \cdot s^{-1}$, neovplyvnené a ovplyvnené údolnými nádržami [5]

Tok	Merný profil	Priemerný	Q_{100}	Q_{100}
		ročný prietok	prirodzený	ovplyvnený
Ostravice	Ostrava	15,5	1120	842
	Sviadnov	11	865	550
Morávka	Raškovice	3,6	300	141
Lučina	Radvanice	2,4	236	209

Beskydské toky sú špecifické tým, že majú značne rozkolísané prietoky. Rozkolísanosť prietokov je charakterizovaná pomerom medzi extrémnymi povodňovými a minimálnymi prietokmi. Otto Brosch vo svojej monografii Povodí Odry [5] uvádza, že najväčšia rozkolísanosť sa prejavuje na hornom toku rieky Ostravice, kde storočný kumulačný prietok prevyšuje minimálny pozorovaný prietok 6038 krát. V jarných mesiacoch sa odtok vody výrazne zvyšuje. Prispieva k nemu voda, ktorá vznikne roztopením snehovej pokrývky obsahujúcej vyššie množstvo vody. Z celkového ročného odtoku vody predstavuje odtok z Ostravice v jarných mesiacoch až 40 %. [3]

Ostravice je rieka dlhá 65,1 km. Má dva pramene, Bielu a Čiernu Ostravicu, ktoré sa po približne 10km stretávajú v blízkosti obce Staré Hamry v nadmorskej výške 521 m n.m., kde vytvárajú typickú beskydskú štrkonosnú rieku Ostravice. Rieka dostala názov podľa jej prudkého (ostrého) toku. časť jej toku tvorí historickú hranicu Moravy a Slezska. Na hornom toku rieky nad obcou Ostravice bola v šesťdesiatych rokoch 20. storočia vybudovaná vodná nádrž Šance. V povodí Ostravice sa nachádza ešte niekoľko vodných nádrží ako napríklad Morávka, Olešná, Žermanice alebo Baška. Na jar v období topenia snehu dochádza k zanášaniam nádrží pôdnymi časticami odnesenými vodou z topiaceho sa snehu. Rieka končí svoju púť v Ostrave, kde sa vlieva ako pravostranný prítok do rieky Odry. [5] [30] Všeobecná situácia v povodí je zobrazená v mape 2 v mapovej prílohe.

4 PROBLEMATIKA ERÓZIE Z TOPENIA SNEHU

4.1 Erózia pôdy

Slovo erózia pochádza z latinského slova *erodere*, ktoré znamená vymieľať. Zachar vo svojej monografii *Soil Erosion* [23], že pojem erózia bol prvý krát použitý v geológii na popísanie vytvárania dutín vodou a odnášanie pevných materiálov pôsobením riečnej vody, zatiaľ čo pojem *ablation*, v preklade odstránenie, pochádzajúce z latinského slova *ablatio* - odnieť preč, predstavoval zmývanie povrchu a zrážkovú eróziu. Prvé známe použitie pojmu erózia nemalo nič spoločné s odnosom pôdy. Robert Copland ho v roku 1541 použil v lekárskom texte pre popis ohnísk rozvinutých v hrdle. [28]

Pod pojmom erózia rozumieme fyzikálny proces, pri ktorom dochádza k rozrušovaniu a odstraňovaniu vrchnej časti zemského povrchu spôsobenému vonkajšími (exogénnymi) procesmi. Definícia erózie z geologického encyklopedického slovníka znie: "Erózia je odstraňovanie častí zemského povrchu prúdom tečúcej vody (vo vodných tokoch), vlniacou sa vodou (morskou, jazernou), ľadom, snehom, vetrom, pričom transport nie je podstatnou súčasťou erózie". Erózia predstavuje hlavne transport zvetraných častí, zatiaľ čo samotné rozrušovanie je spôsobené procesom, ktorý sa nazýva zvetrávanie. Odstránené častice sa presúvajú na iné miesta, kde sa ukladajú vo forme nánosov. Príčinou erózie je pôsobenie pohybujúcich sa látok ako je napríklad vzduch, voda, ľad alebo sneh. Je to síce prírodný proces ale môže byť značne urýchlený činnosťou človeka. Človek tiež môže účinok erózie spomaliť rôznymi protieróznymi opatreniami.

Podľa [8] sa pojem erózia často zamieňa alebo spája s ďalšími termínmi ako sú akumulácia, denudácia, planácia, sedimentácia a transport.

- akumulácia - zhromažďovanie pôdneho a horninového materiálu v určitom priestore, v ktorom transportné činitele spôsobujúce jeho prenos strácajú energiu [8]
- denudácia - obnažovanie, znižovanie zemského povrchu odnášaním uvoľneného materiálu rozličnými procesmi [8]
- planácia - zarovnávanie výškových a tvarových rozdielov zemského povrchu, na ktorých sa podieľajú aj erózia aj akumulácia [8]
- sedimentácia - vznik usadených hornín akumuláciou častíc vlečených po dne vodného toku, unášaných vetrom alebo vyrážaním z roztoku. [8]
- transport - prenos uvoľneného horninového a pôdneho materiálu pôsobením transportných činiteľov [8]

Najnebezpečnejším obdobím z hľadiska erózie je jar. V tomto období sa po dlhšom období sucha môžu vyskytovať intenzívne zrážky, intenzívne topenie snehu alebo vetry s vysokou intenzitou. K tomu ešte prispieva to, že vegetačný kryt nie je úplne rozvinutý a teda nechráni dostatočne pôdu. Zima je z hľadiska erózie menej nebezpečným obdobím najmä preto, že pôda býva zamrznutá. Veľké nebezpečenstvo v zime predstavuje náhle roztopenie väčšej snehovej pokrývky. Máj a jún tiež patria k nebezpečným obdobiam,

pretože dochádza k náhlym letným búrkam. Podľa Antala (1994) je rozdelenie odnosu pôdy v priebehu roka nasledovné (rok = 100 %) : jar 45,7 %, zima 26,2 %, leto 21,1 %, jeseň 5,2 %. [11]

4.2 Faktory ovplyvňujúce erózne procesy

Intenzita erózie a jej účinok závisí na mnohých faktoroch. Hlavným faktorom, ktorý spôsobuje eróziu, je gravitácia. Tá určuje správanie sa erózných činiteľov, ale nie je priamym eróznym činiteľom. Vplyv gravitácie je sprevádzaný radou ďalších faktorov, ktoré ovplyvňujú odnos pôdy. Faktory, ktoré vplývajú na eróziu, môžeme rozdeliť na klimatické, geologické a biologické.

Ku klimatickým faktorom môžeme zaradiť intenzitu zrážok, frekvenciu búrok alebo rýchlosť vetra. Z hľadiska erózie spôsobenej topením snehu je možné medzi klimatické faktory zaradiť aj množstvo snehu a intenzitu snehových zrážok. Oblasti, kde dochádza často k zrážkam a lejakom, oblasti so značnou snehovou pokrývkou, ktorá sa na jar topí alebo oblasti, kde vietor dosahuje vyššie rýchlosti, sú omnoho viac náchylné na eróziu. Na odnos pôdy majú priamy vplyv atmosférické zrážky, vietor alebo aj voda vzniknutá pri topení snehu. Naopak napríklad vlhkosť, teplota alebo ostatné poveternostné podmienky vplývajú na odnos pôdy nepriamo cez rastlinný kryt. [11]

Medzi geologické faktory môžeme zaradiť typ pôdy alebo tvrdosť erodovanej horniny. Ďalej pórovitosť a priepustnosť pôdy. Napríklad ílovité pôdy prepúšťajú menej vody, a preto u nich dochádza k menšej intenzite erózie ako pri pôdach, ktoré prijímajú viac vody a sú ňou viac rozrušované. V neposlednej rade patrí ku geologickým faktorom vplyv reliéfu, presnejšie sklon terénu a dĺžka svahu.

Medzi biologické faktory patrí hlavne vegetačný kryt, ktorý má značný vplyv na intenzitu erózie. Vegetačný kryt vplýva na eróziu buď priamo (spomaľuje rýchlosť povrchového odtoku, zachytáva časť zrážok) alebo nepriamo (ovplyvňuje pôdne vlastnosti). Ďalej je do tejto kategórie možné zaradiť aj organizmy, ktoré žijú v danej oblasti a tiež aj spôsob využitia územia.

Na eróziu má veľký vplyv aj človek. Či už ide o odlesňovanie, vypaľovanie tropických pralesov, čím sa vlastne odstraňuje prirodzená ochrana pôdy a zvyšuje sa možnosť erózie, alebo stavbu obydľí a komunikácií. Napríklad cesty narušujú a menia prirodzenú riečnu sieť, čo môže spôsobiť, že voda sa cez vozovku dostane na miesta, kam by sa nedostala a tým zvyšuje eróziu. [27] [28]

4.3 Druhy erózie

Eróziu môžeme triediť na základe viacerých kritérií. Bud' ju triedime podľa intenzity s akou pôsobí (napr. veľmi slabá, slabá, stredná, silná, extrémna), alebo podľa činiteľov, ktoré ju spôsobujú. Erózia sa podľa činiteľov, ktoré ju spôsobujú delí na štyri hlavné skupiny: vodná erózia, veterná erózia, kryogénna erózia a biologická erózia. V súčasnosti sa čoraz viac uplatňuje erózia antropogénna.

Vodná erózia alebo fluviálna erózia, je spôsobovaná vodou v kvapalnom skupenstve. Voda má na eróziu vplyv aj v pevnom skupenstve, ale kvôli odlišnému pôsobeniu na eróziu sa radí do samostatnej skupiny kryogénnej erózie. Voda ako všade prítomný element na zemskom povrchu môže zapríčiniť eróziu rôznymi spôsobmi. Zachar v [23] uvádza, že vodná erózia zahŕňa deštrukciu povrchu Zeme prostredníctvom dažďových kvapiek, riečnej, podzemnej a iných druhov vody. Najfrekventovanejšia deštrukcia je spôsobovaná morskou vodou. Taktiež rozdeľuje vodnú eróziu naorskú a pevninskú. Podľa toho v akej forme voda spôsobuje eróziu môžeme túto rozdeliť na dažďovú, riečnu aorskú eróziu.

- Dažďová erózia (pluviálna) pôsobí na najväčších plochách. Základom sú dažďové zrážky, pri ktorých dopadajú kvapky vody na povrch a tým uvoľňujú pôdne častice. Tie sú následne odnášané povrchovou vodou, ktorá vzniká pri dažďových zrážkach a nestíha sa vsiaknuť do pôdy. Intenzita dažďovej erózie závisí najmä na mechanickej sile tečúcej vody. Podľa toho je možné ju ďalej rozdeliť na plošnú alebo líniovú. [8]
- Riečna erózia patrí k významným druhom vodnej erózie, ktorá je spôsobená tečúcou vodou v trvalých vodných tokoch. Trvale tečúca voda vyvíja veľkú mechanicкую silu, ktorá spôsobuje odnos častíc. Pozostáva z troch procesov. Dnová erózia spôsobuje vymieľanie dna riečneho koryta, brehová erózia podmýva brehy najmä na miestach, kde sa vodný tok zatača. Posledným procesom je povodňová erózia. [8]
- Morská erózia sa delí na pobrežnú a prúdovú eróziu. Vlnobitie a príboj, ktoré spôsobujú pobrežnú eróziu, podmýva brehy morí a jazier a tým vytvára rôzne terasy a útesy. K morskej erózii môžeme zaradiť aj jazernú eróziu, pretože je svojou povahou podobnejšia morskej erózii. [8]

Veterná erózia alebo eolická erózia sa vyskytuje najmä v suchých oblastiach, kde je nedostatok zrážok spojených s vysokými teplotami a na miestach kde je slabý rastlinný kryt, ktorý neposkytuje ochranu. Veterná erózia je spôsobovaná mechanicickou silou vetra, ktorý odnáša častice pôdy z pôvodnej polohy na iné miesta. Pôsobenie vetra je dlhodobé a vytrvalé. Môže pôsobiť celoročne ale najničivejšie je na jar. Jedným z druhov veternej erózie je vyvievanie alebo deflácia. Je to proces odnášania najjemnejších častí pôdy vetrom. Podľa spôsobu, akým sa odnášané častice pohybujú, delíme vyvievanie na vznášanie, poskakovanie a vlečenie. Ďalším druhom veternej erózie je obrusovanie alebo korázia. Pri korázii dochádza k obrusovaniu povrchu pôdy a hornín pevnými časticami, ktoré sú unášané vetrom. Posledným druhom je víchricová erózia, pri ktorej tie najsilnejšie vetry okrem priameho odnášania pôdy aj vyvracajú stromy, pričom tiež dochádza k premiestňovaniu pôdy. [8] [6] [23]

Kryogénna erózia, jeden z najvýznamnejších erózných procesov, je spôsobená vodou v pevnom skupenstve a to prevažne vo forme ľadovcov a más snehu. Podľa toho sa kryogénna erózia delí na ľadovcovú a snehovú eróziu:

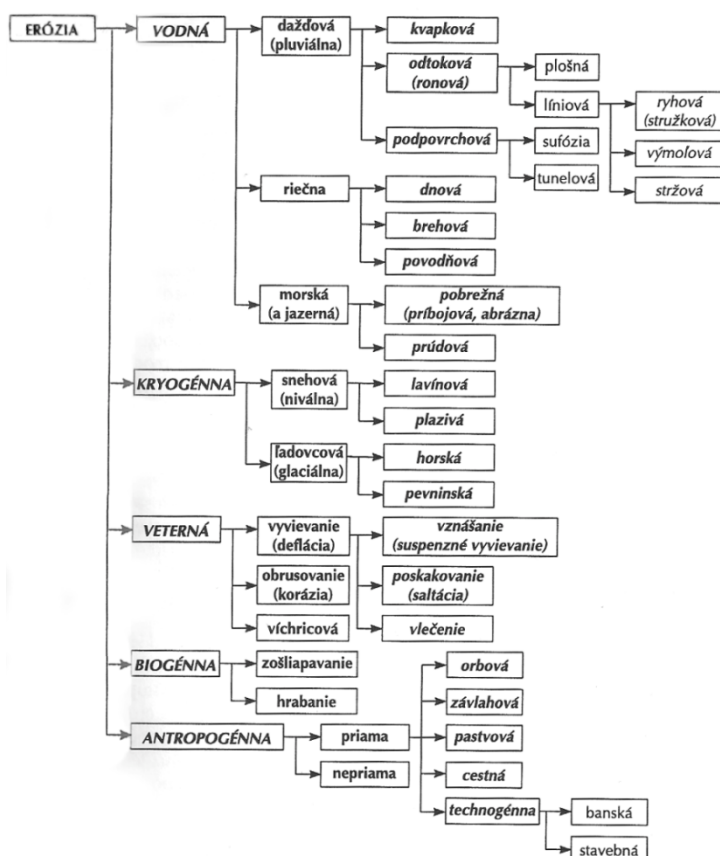
- Ľadovcová alebo glaciálna erózia je spôsobená pohybujúcim sa ľadovcom, ktorý sa vlastnou tiahou pohybuje nepatrnou rýchlosťou z hôr do údolí a pri tom zo sebou unáša veľké množstvo materiálu. Tento prenesený materiál, ktorý v nižších polohách tvorí nánosy, sa nazýva moréna. Glaciálna erózia je dominantná prevažne v chladných regiónoch, kde sa priemerná teplota pohybuje pod 0°C. Podľa [23] sa pôda pri glaciálnej erózii poškodzuje len na okrajových častiach ľadovca, v nových kanáloch ľadu a topiacou sa vodou. Zachar tiež tvrdí, že proti tejto erózii majú rôzne formy ochrany pôdy pred eróziou, ako napríklad vegetácia, veľmi malú účinnosť. Účinnosť ľadovca závisí najmä na jeho hrúbke a váhe, rýchlosti pohybu, na klíme, spáde terénu a v neposlednej rade na mraze. [8] [6]
- Snehová alebo niválna erózia je erózný proces, ktorý sa vyskytuje v oblastiach so súvislou snehovou pokrývkou. Snehová erózia sa môže prejavovať rôznymi spôsobmi. Vo viacerých zdrojoch ([8] [23]) sa uvádza rozdelenie snehovej erózie podľa rýchlosti, akou sa snehová masa pohybuje, na eróziu lavínovú a plazivú. Lavínová erózia je spôsobená padajúcou masou snehu pohybujúcou sa značnou rýchlosťou a veľkou tiažou, ktorá vytvára výrazné erózne útvary. Ku plazivej erózii dochádza vtedy, keď sa sneh pomaly pohybuje po svahu, čím odstraňuje vrchné vrstvy pôdy. Plazivá erózia pôsobí viac plošne, na rozdiel od lavínovej, ktorá pôsobí viac líniovo. [8] Zachar medzi kryogénnu eróziu radí aj eróziu spôsobenú topením snehu, ktorej je venovaná samostatná kapitola.

Biologická erózia je druh erózie, ktorá je spôsobovaná živými organizmami. Napriek tomu, že je celkom bežná, nie je veľmi známa. Zachar v [23] uvádza rozdelenie podľa toho, či ju spôsobujú rastliny alebo živočíchy. Eróziu rastlinného pôvodu spôsobujú korene rastlín. Táto činnosť je samozrejme z pedologického hľadiska pozitívna, pretože zvetrávanie nahradí straty pôdy v pôdnom plášti spôsobené vonkajšími silami a odstránením organického rastlinného materiálu. [23] Erózia, ktorú spôsobujú živočíchy je ďalším druhom biologickej erózie. Živočíchy spôsobujú ničenie pôdy pri pohybovaní, hľadaní potravy alebo pri hĺbení nôr. Podľa toho, ako živočíchy pôdu ničia sa môže táto erózia ďalej deliť na zošliapavanie a hrabanie. Zošliapavanie spôsobujú zvieratá pri pohybe, hrabanie spôsobujú zvieratá žijúce v norách samotným vyhrabávaním nôr alebo aj vyhrabávaním potravy zo zeme. Živočíchy môžu taktiež nepriamo spôsobovať eróziu tým, že narúšajú a ničia vegetáciu. [8] [23]

Antropogénna erózia predstavuje činnosť človeka, ktorý napomáha odnosu pôdy buď priamo rôznymi činnosťami alebo nepriamo, čím urýchľuje erózne procesy. Podľa Zachara by antropogénna erózia nemala byť radená medzi základné druhy erózie, pretože erózia vzniká pôsobením prírodných faktorov a činnosť človeka zväčša účinok týchto faktorov len urýchľuje. [23]

Tabuľka 3: Klasifikácia erózie podľa aktívnych faktorov [23]

Faktor	Názov	Medzinárodný názov
1 voda	vodná erózia	aquatic erosion
1.1 zrážky, dážď	zrážková (dážďová) erózia	pluvial erosion
1.2 rieka	riečna erózia	fluvial erosion
bystrina	bystrinná erózia	torrential erosion
1.3 jazero	jazerná erózia	limnic erosion, lacustrine erosion
1.4 more	morská erózia	marine erosion
2 ľadovec	ľadovcová erózia	glacial erosion
3 sneh	snehová erózia	nival erosion
4 vietor	veterná erózia	aeolian erosion
5 sutina	sutinová erózia	soligenic erosion
6 organizmus	biologická erózia	organogenic erosion
6.1 rastliny	erózia spôsobená rastlinami	phytogenic erosion
6.2 zvieratá	erózia spôsobená zvieratami	zoogenic erosion
6.3 človek	erózia spôsobená človekom	anthropogenic erosion



Obrázok 5: Schéma triedenia erózných procesov podľa [8]

4.3.1 Erózia spôsobená topením snehovej pokrývky

V jarnom období (v období topenia snehu) dochádza k topeniu snehovej pokrývky na povrchu a vzniká voda, ktorá môže mať na pôdu erozívne účinky a môže spôsobovať stratu pôdy. Dochádza k erózií pôdy spôsobenej topením snehovej pokrývky. Tento druh erózie nie je veľmi známy. Je jedným z prejavov snehovej erózie, ktorá je tiež označovaná ako nivácia. Topiaci sa sneh v niektorých oblastiach môže byť významným činiteľom spôsobujúcim škody na prevažne poľnohospodárskej pôde. Sú to prevažne oblasti, kde sa vyskytuje ťažká snehová pokrývka, ktorá sa rýchlo roztopí. Tiež oblasti, kde sa tvoria snehové záveje (horské hrebene, záveterné svahy, rokliny, priehlbiny), sú výrazne ohrozené eróziou spôsobenou topením snehu.

Z výsledkov rôznych erózných štúdií vyplýva, že intenzita erózie z topenia snehu môže dosahovať intenzitu dažďovej erózie, alebo ju intenzitou môže dokonca prevýšiť. Podľa [23] môže byť topiaci sa sneh z pohľadu straty pôdy nebezpečnejší ako prívalové zrážky, pretože dochádza k transportu veľkého množstva pôdných častíc do riek. Aj napriek tomu, že je rýchlosť topenia snehu väčšinou nižšia ako doba trvania dažďových zrážok, vsakovanie vody z roztopeného snehu je minimálne v dôsledku premrznutej pôdy. To spôsobuje, že značná časť vody odteká, a preto má odtokový koeficient vody z topiaceho snehu často vyššiu hodnotu ako pri dažďovej vode. [16] Účinok dažďovej erózie je obmedzený oblasťou, kde zrážky padajú a je závislý od priebehu dažďa a tiež od ochrany, ktorú spôsobuje vegetácia, zatiaľ čo erózia z topenia snehu zasahuje väčšie územia, ktoré nie sú veľmi chránené vegetáciou. Pri silnom daždi je intenzita erózie vysoká, ale tým, že pôsobí na menšom území nemusí dôjsť k odplaveniu častíc pôdy až do riečneho koryta. Silný dážď však môže spôsobiť až úplné zničenie pôdy spojené s nárastom erózných rýh a tým môže dôjsť až k zničeniu malých povodí. Voda vzniknutá topením snehu spolu s dažďovou vodou spôsobuje transport pôdných častíc na veľké vzdialenosti a tým spôsobuje rozsiahlu riečnu eróziu ovplyvňujúcu veľké plochy. [23]



Obrázok 6: Príklad erózie spôsobenej topením snehu [34]

V chladnej perióde (november až marec) dochádza k opätovnému zamŕzaniu a rozmŕzaniu pôdy. Tento proces má veľkú úlohu pri erózii spôsobenej topením snehu. Voda vylúčená z pôdy sa agreguje do ľadových kryštálov, ktoré vznikajú okolo pôdnych hrudiek. Pri ich formovaní sa rozdeľujú pôdne hrudky, čo má za následok odplavenie kvalitných častíc pôdy v období topenia snehu. Počas zimného obdobia je vrchná vrstva pôdy presýtená vodou, čím dôjde k výraznému obmedzeniu možnosti infiltrácie vody do pôdy. Tým, že voda nemôže presakovať do pôdy sa zvýši povrchový odtok vody, ktorá so sebou odnáša častice pôdy. Príchodom teplejšieho počasia v jarých mesiacoch, kedy dochádza k topeniu snehu, vrchná vrstva pôdy rozmŕza a v spojení s vodou z roztopeného snehu vytvára blatistú vrstvu, ktorá má sklony k tečeniu. V tomto období je pôda pokrytá buď len malými rastlinami, alebo je úplne holá. Ochranný účinok rastlinného krytu je teda veľmi malý, čo má tiež výrazný vplyv na odnos pôdy. [23]



Obrázok 7: Príklad erózie spôsobenej topením snehu [34]

Zachar v [23] tiež uvádza, že erózia z topenia snehu začína pôsobiť už na svahoch so sklonom $2 - 3^\circ$. Na svahoch so sklonom 10° sa priemerná strata pôdy v jarnom období počas topenia snehu pohybuje okolo 2 mm (30 t ha^{-1}). V jarnom období, kedy dochádza k topeniu snehu, sa s rastúcou teplotou zvyšuje aj množstvo vody, ktoré vzniká pri topení. Čím viac vody vznikne pri topení, tým je väčšia aj koncentrácia a veľkosť pôdných častíc. Väčšia koncentrácia a veľkosť pôdných častíc vo vode zvyšuje jej zakalenosť a tým zvyšuje aj erozívny účinok vody z topiaceho sa snehu. Pri vyšších teplotách sa okrem množstva vody a pôdných častíc zvyšuje aj rýchlosť vody. Zachar uvádza, že pri rýchlosti $0,15 \text{ až } 0,2 \text{ m s}^{-1}$ sa začínajú pohybovať častice s priemerom do 2 cm , pri rýchlosti $0,3 \text{ m s}^{-1}$ sa priemer častíc unášaných vodou zvýši na 3 cm a pri rýchlosti $0,6 \text{ m s}^{-1}$ budú unášané pôdne častice s priemerom od 4 do 7 cm . [23]

Z dôvodu zvýšeného povrchového odtoku spôsobeného zníženým presakovaním vody môže dôjsť k relatívne intenzívnej erózií aj pri nie veľkej vrstve snehovej pokrývky. Tento proces je ešte urýchlený s príchodom mäs teplého vzduchu, ktoré so sebou prinášajú aj dažďové zrážky. Snehová pokrývka nemusí byť rozmiestnená rovnomerne, čo môže rôzne vplývať na intenzitu erózie v danom mieste. Erózia bude mať vyššiu intenzitu na miestach, kde je množstvo snehu vyššie (depresie, záveterné strany svahov, ...) a nižšiu na miestach, kde je množstvo snehu menšie (náveterné strany svahov, ...). Intenzita erózie je okrem výšky snehu závislá taktiež od jeho vodnej hodnoty a od rýchlosti topenia. Okrem

vlastností snehu závisí najmä na type pôdy a na jej priepustnosti. Čím je pôda menej priepustná, tým dochádza k menšej intenzite erózie a teda aj menším stratám pôdy.

Množstvo splavenín vo vodných tokoch môže byť indikátorom erózie spôsobenej topením snehovej pokrývky a podľa tohto množstva môžeme posúdiť dôležitosť a intenzitu tejto erózie v rôznych ročných obdobiach. Pre ilustráciu Zachar vo svojej monografii Soil Erosion [23] uvádza priemerné mesačné množstvá naplavenín v slovenských riekach (tabuľka 4). Pre rieky Váh, Nitra, Uh, Hron a Laborec dosahuje množstvo naplavenín maximum v jarných mesiacoch, čiže v období topenia snehu. Druhé letné maximum sa vyskytuje len na riekach Váh a Dunaj. 74% všetkých naplavenín v riekach, ktoré pramenia v Karpatoch, sa vyskytuje v zime a na jar (zima - 26,3%, jar - 47,56%) a 26% v lete a na jeseň (leto - 21,05%, jeseň - 5,1%). [23]

Tabuľka 4: Priemerné množstvo naplavenín v slovenských riekach [kg s⁻¹] [23]

Mesiac	Rieka						
	Dunaj	Morava	Nitra	Váh	Hron	Laborec	Uh
1	46,14	2,19	2,10	4,54	2,22	3,47	7,74
2	189,57	3,92	4,68	17,80	20,18	22,25	15,35
3	395,67	5,51	7,16	51,60	42,85	13,63	13,90
4	212,02	5,86	7,46	68,45	20,92	14,75	24,68
5	272,14	3,36	1,60	18,45	8,55	7,45	12,95
6	398,78	1,71	0,57	18,55	4,20	3,33	8,42
7	734,92	7,15	2,65	60,80	7,59	1,37	5,54
8	288,38	2,14	1,16	12,95	8,48	1,24	2,33
9	86,00	0,80	0,29	3,17	1,48	1,29	3,12
10	82,57	1,41	0,44	5,32	2,55	2,95	3,99
11	29,43	0,65	0,29	4,15	0,67	2,08	2,87
12	79,77	1,88	1,83	28,80	6,97	11,75	24,21

Erózia spôsobená topením snehu je v mnohých krajinách sveta dôležitou súčasťou ročnej straty pôdy. Topenie snehu v zimnom a jarnom období je častou príčinou erózie pôdy napríklad v severských krajinách Európy ako je Nórsko, Švédsko a Fínsko. Erózia spôsobená topením snehu bola sledovaná tiež na Slovensku, Poľsku, Nemecku, Taliansku, Rakúsku alebo Švajčiarsku a okrem Európy jej venujú pozornosť tiež v Kanade. [17]

4.4 Dôsledky erózie

Všetky druhy erózie majú negatívny vplyv na pôdu po celom svete. Európska agentúra pre životné prostredie uvádza, že 115 miliónov hektárov pôdy je vystavených vodnej erózii. Vplyvom odlesňovania, sucha a zmien klímy sa podľa OSN stratí úrodná pôda s rozlohou Ukrajiny. Škody, ktoré erózia napácha sú citeľné najmä v poľnohospodárstve, vodnom hospodárstve, alebo aj na stavbách. Keďže pre poľnohospodárstvo je pôda základným prostriedkom, jej odnos pôsobí v tomto obore veľké škody. Odnos pôdy je spôsobený hlavne vodou, ktorá ju odplavuje, alebo vetrom, ktorý ju odvieva. Tieto procesy majú za následok zníženie úrodnosti pôdy alebo v najhorších prípadoch jej úplnú deštrukciu. Okrem odnosu môže byť pôda zničená aj hromadením rôznych naplavenín. Ďalším škodlivým účinkom, ktorým erózia škodí v poľnohospodárstve je podmývanie, kedy dochádza k priamemu poškodzovaniu rastlín. Veľké škody môže erózia spôsobiť aj na stavbách, medzi ktoré patrí napríklad podmývanie brehov vodných tokov, zanášanie a podmývanie komunikácií. Dokonca môže dôjsť k poškodeniu alebo až k zničeniu budov. Vo vodnom hospodárstve spôsobuje erózia škody hlavne zanášaním vodných nádrží a korýt riek nečistotami a odplavenou pôdou, ktoré je nutné častejšie a pracne odstraňovať. Podľa [37] dochádza k zanášaniam až 5 % objemu nádrží každý rok. Tým, že dochádza k znečisťovaniu riek a vodných nádrží splaveninami sa zvyšuje ich dno a teda aj hladina. Zvýšenie hladiny môže spôsobiť zaplavenie plôch v okolí rieky alebo vodnej nádrže. Okrem zanášania vodných nádrží a korýt môže dôsledkom erózie dôjsť k zníženiu kvality vody, čo spôsobuje problémy pri jej ďalšom využití. [6] [8] [27] [28]

5 MODELOVANIE ERÓZNYCH PROCESOV

Človeka na erózií okrem jej druhov alebo napríklad spôsobov ako jej predchádzať zaujíma v poslednej dobe najmä jej predvídanie a určenie straty pôdy v nejakom časovom období a v určitej oblasti. Táto potreba dala podnet pre formovanie modelovania erózie. Už v roku 1936 Cook položil základy matematického vyjadrenia procesu erózie, keď definoval základné faktory, ktoré sa na erózií podieľajú. K týmto faktorom patrila náchylnosť pôdy na eróziu, potenciál eróznej účinnosti dažďa, vplyv sklonu a dĺžky svahu a tiež ochranný vplyv vegetačného krytu. [12] V počiatočných modelovania sa modely zameriavali na zisťovanie a predpoveď straty pôdy a boli založené na definovaní erózných činiteľov a tiež určovali ich vplyv na eróziu s použitím výsledkov meraní a experimentov. V súčasnosti sa modelovanie erózie značne rozvinulo a tiež sa zvýšila potreba hlbšieho analyzovania procesov, ktoré prebiehajú pri erózií. [8]

5.1 Druhy erózných modelov

Pri modeloch je dôležitý ich účel, teda či sa od modelu požaduje kvantifikácia, alebo predpoveď erózných procesov. Modely erózných procesov je možné roztriediť na viacero druhov. Triedenie modelov podľa Georgyho a Wallinga, ktoré uvádza [8] je nasledovné:

- 1) **fyzikálno-technické** - Zmenšené modely vytvorené v laboratóriu.
- 2) **analógové** - Používajú mechanické, alebo elektrické systémy, umožňujúce analógiu vzhľadom k skúmaným systémom, napríklad tok elektrického prúdu simulujúci tok vody.
- 3) **digitálne** - Sú založené na použití počítačov, spracúvajú veľké množstvo dát.
 - a) **fyzikálno-matematické** - Založené na matematických rovniciach, zahŕňajú zákony fyziky. Majú logickú štruktúru podobnú systémom v reálnom svete. Je možné ich aplikovať aj pri zmenených podmienkach v povodí. Aby mohli reprezentovať všetky hydrologické procesy, musia zahŕňať veľké množstvo parametrov, k čomu je potrebné veľké množstvo dát. Množstvo potrebných údajov môže byť nevýhodou týchto modelov, pretože všetky údaje nemusia byť k dispozícii. Fyzikálne modely vo všeobecnosti poskytujú detailnejšie informácie v čase aj priestore. [19]
 - b) **stochastické** - Sú založené na generovaní syntetických sekvencií javov získaných zo štatistických charakteristík existujúcich vzoriek údajov potrebných pre generovanie vstupných sekvencií pre fyzikálne, alebo empirické modely. [8]
 - c) **empirické** - Sú založené na identifikácii vzťahov medzi premennými. Ide vlastne o reprezentáciu dát. Nie sú založené na fyzikálnych zákonoch. Empirické modely sú odvodené s využitím množstva údajov. Nevýhodou je, že mimo rozsahu dát, pre ktorý boli odvodené majú obmedzenú použiteľnosť. V niektorých prípadoch tieto modely poskytujú dostatočné výsledky. [19]

Podľa [19] sa matematické modely delia na fyzikálne, empirické a konceptuálne. Empirické a fyzikálne modely sa zhodujú s predchádzajúcim rozdelením. Základom konceptuálnych modelov je konceptuálne pochopenie hydrologického systému. Sú to modely, ktoré sa nachádzajú niekde medzi empirickými a fyzikálnymi modelmi. Často ale v zjednodušenej forme berú do úvahy aj fyzikálne zákony.

V roku 1940 Zingg na základe výskumu vplyvu sklonu a dĺžky svahu odvodil vzťah, ktorý sa považuje za prvý empirický model. Tento vzťah odhadoval priemernú ročnú stratu pôdy spôsobenú vodnou eróziou vynásobením troch faktorov (sklon a dĺžka svahu, konštanta zahŕňajúca ostatné faktory, ktoré ovplyvňujú eróziu). Z ďalších vzťahov, ktoré postupne vznikali je vhodné spomenúť ešte Frevertovu rovnicu, rovnicu Musgrava a ich upravené verzie a taktiež rovnicu USLE, ktorá bude spomenutá neskôr. [12]

K ďalším významnejším používaným modelom patria v súčasnosti CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), SWRRB (Simulator of Water Resources in Rural Basins), ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation), AGNPS (Agricultural Non-Point Source) a ďalšie. [8]

Pre modelovanie erózie, hlavne vodnej, existuje mnoho modelov, ale len malé množstvo z nich v sebe zahŕňa aj vplyv erózie spôsobenej topením snehovej pokrývky. Medzi tieto modely môžeme zaradiť napríklad modely SHE, IWAN, EROSION 3D, EUROSEM, alebo tiež model RUSLE upravený pre modelovanie erózie z topiaceho sa snehu.

Model **SHE** (Système Hydrologique Européen) predstavuje hydrologický modelovací systém, ktorý sa radí k fyzikálnym typom erózných modelov. Tento model obsahuje zložku, ktorá pracuje s eróziou spôsobenou topením snehu. Táto zložka bola prvý krát testovaná pre 12-dennú epizódu, kedy dochádzalo k topeniu snehu, v Reynolds Creek v Idahu. Výsledky tohto testu ukázali, že model SHE je schopný simulovať reakcie hydrogramu spôsobené topením snehu. Najväčšou nevýhodou tohto modelu je to, že k používaniu tohto modelu je potrebná väčšia hydrologická odborná znalosť. [1]

Model **IWAN** (Integrated Winter erosion And Nutrient load model) predstavuje systém, ktorý sa skladá zo štyroch samostatných modelov. Model IWAN vlastne predstavuje obal týchto štyroch modelov založený na jave. Prvým zo štyroch modelov je WaSim-ETH (Water balance Simulation Model ETH). Tento model slúži pre simuláciu hydrológie povodí z priestorového hľadiska na základe buniek a z časového hľadiska na základe krokov, ktoré predstavujú intervaly v rozmedzí minút až dní. Čo sa týka dát, tento model obsahuje niekoľko podmodelov, ktoré majú rôzne nároky na dáta. Ďalším modelom, ktorý je súčasťou modelu IWAN je SMEM (Snowmelt erosion model). Je to model, ktorý slúži na odhad pôdy oddelenej pri koncentrovanom toku v ryhách počas topenia snehu. Tretím modelom je AGNPS (Agricultural Non-Point Source Model). Tento model slúži k simulácii povrchového odtoku, znečistenia a znečisťujúcich látok v povodí. Tento model je založený na empirickom princípe, ktorý je však v modeli IWAN nahradený výpočtami, ktoré sú viac fyzikálne založené. Posledným modelom v rámci modelu IWAN je model ANIMO (Agricultural Nitrogen Model) rozšírený o fosfátový modul. [15]

Model **EROSION 3D** je erózný model založený na fyzikálnom princípe, ktorý slúži na simulovanie povrchového odtoku, erózie, alebo textúrneho zloženia erodovaných sedimentov. Samotný model EROSION 3D nie je schopný určiť eróziu z topiaceho sa snehu. Preto vznikla verzia **EROSION 3D Winter Version**, v ktorej je zahrnutá aj možnosť určenia tohto druhu erózie. Testovanie tohto modelu ukázalo, že dokáže simulovať eróziu spôsobenú topením snehu spoľahlivo aj keď kvôli lepším výsledkom povrchového odtoku a strát pôdy bude musieť byť ešte vylepšený. [22]

Model **EUROSEM** (European soil erosion model) patrí k modelom, ktoré predpovedajú eróziu a taktiež dokážu vyhodnotiť rôzne opatrenia, ktoré majú slúžiť k ochrane pôdy pred eróziou. Tento model musí byť spojený s nejakým hydrologickým modelom schopným predpovedať a smerovať odtok. V súčasnej verzii je to model KINEROS. [4] Ale podľa [2] musí byť model EUROSEM pre modelovanie v zimných podmienkach doplnený o hydrologický model SOIL. Je to jednorozmerný hydrologický model simulujúci tok tepla a vody cez pôdny profil pokrytý vegetáciou.

6 MODEL RUSLE

Model RUSLE (Revised universal soil loss equation - revidovaná univerzálna rovnica straty pôdy) predstavuje rovnicu, ktorá sa využíva pre predikciu dlhodobej priemernej ročnej straty pôdy vodnou eróziou z poľnohospodársky využívaných pozemkov ležiacich v klimatickej oblasti daného typu, s daným druhom pôdy, s určitým sklonom a dĺžkou svahu, pri určitom systéme pestovania plodín, obrábania pôdy a uplatňovaní protieróznych opatrení. [12] V 90. rokoch došlo k revízií a aktualizácií modelu USLE (Universal soil loss equation) a taktiež k zmenám v stanovovaní faktorov, ktoré do tejto rovnice vstupujú. Tým vznikol revidovaný model USLE, teda RUSLE. Tento model sa stal jedným z najpoužívanějších modelov pre predikciu straty pôdy vodnou eróziou a mnohí ho považujú za model najdokonalejšie vyjadrujúci číselné účinky faktorov, ktoré majú vplyv na eróziu. Vďaka veľkej popularite tohto modelu vzniklo od jeho uvedenia niekoľko jeho modifikácií ako napríklad MUSLE (Modified universal soil loss equation), USLE-M, alebo tiež rovnica RUSLE upravená pre eróziu spôsobenú topením snehu.

Model RUSLE má radu výhod. K hlavným výhodám patrí určite jeho jednoduchosť a rýchlosť výpočtu. Ďalšou výhodou je možnosť využitia množstva vstupných údajov z databáz, ktoré zahŕňajú aj faktory rovnice RUSLE. Aj keď v definícii modelu je uvedené použitie len pre poľnohospodársky využívané pozemky, je možné RUSLE použiť aj pre iné pozemky (napr. staveniská). Tento model nie je dokonalý a má taktiež niekoľko nevýhod. Určite je k nim možné zaradiť jeho obmedzenie iba na krátke svahy. Podľa [8] by do tohto modelu mali vstupovať len krátke svahy, na ktorých nedochádza k sústreďovaniu odtoku a následnej tvorbe výmoľov. Teda na svahoch, na ktorých nedochádza k vzniku výmoľovej erózie. Dĺžku svahov odhaduje maximálne na 300 m, pri dlhších svahoch dochádza k nárastu chyby vo výpočte. Ďalšou nevýhodou je to, že aj keď má v názve universal (všeobecný), jej použitie je limitované a nedá sa využiť v ľubovoľných prírodných podmienkach. [8] [12]

USLE aj RUSLE sa radia k empirickým matematickým eróznym modelom. Oba modely sa určujú na základe rovnakej rovnice

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

kde:

- A - priemerná ročná strata pôdy
- R - faktor eróznej účinnosti dažďa a odtoku
- K - faktor erodovateľnosti pôdy
- LS - topografický faktor (L - faktor dĺžky svahu, S - faktor sklonu svahu)
- C - faktor vegetačného krytu a osevného postupu
- P - faktor protieróznych opatrení

V budúcnosti sa predpokladá ďalší rozvoj tohto modelu, pretože je v súčasnosti rozšírený, známy a používaný.

6.1 Model RUSLE upravený pre eróziu z topenia snehu

Pre výpočet intenzity erózie spôsobenej topením snehu bola použitá rovnica RUSLE, ktorá je upravená pre výpočet erózie tohto druhu. Túto rovnicu uviedol Zachar v [23]. Rozdiel medzi pôvodnou rovnicou RUSLE a tou upravenou spočíva v použití niektorých rozdielnych faktorov. Faktor eróznej účinnosti dažďa a odtoku (R-faktor) nie je v upravenej rovnici obsiahnutý a je pridaných niekoľko faktorov. Táto upravená rovnica má tvar

$$E_s = m \cdot h \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot K$$

kde:

E_s - intenzita erózie ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)

m - rýchlosť topenia snehu v dvadsaťdennom období, kedy je topenie najintenzívnejšie ($mm \cdot deň^{-1}$)

h - množstvo vody, ktoré vzniklo behom dvadsaťdenného obdobia topenia snehu (cm)

k - faktor odtoku vody

Faktory LS, C, P a K sú faktory z pôvodnej rovnice RUSLE a boli popísané vyššie. Najdôležitejšími faktormi pre určenie intenzity z topenia snehu sú faktory m , h a k , ktoré sa týkajú charakteristík snehu a vody, ktorá vznikla jeho topením. V [16] uvádzajú ešte jeden faktor, ktorý vstupuje do tejto rovnice. Je ním súčiniteľ pre zamrznutú pôdu (SZP).

6.1.1 Faktor K

Tento faktor vyjadruje erodovateľnosť pôdy, alebo jej náchylnosť k erózií. Je definovaný ako odnos pôdy v t/ha na jednotku dažďového faktoru R zo štandardného pozemku $22,13 m^2$, na svahu 9%, ktorý je udržiavaný ako kyprený čierny úhor kultiváciou v smere sklonu. [12] Erodovateľnosť pôdy je ovplyvnená hlavne vlastnosťami pôdy. Je to hlavne štruktúra pôdy a jej priepustnosť, ktoré ovplyvňujú schopnosť pôdy vsakovať vodu a tiež odolnosť pôdy pred povrchovým odtokom vody z roztopeného snehu. [16]

Faktor K je možné určiť niekoľkými spôsobmi. V prípade, že obsah prachu a práškového piesku v pôde je pod 70%, určí sa faktor K zo vzťahu

$$100 K = 2,1M^{1,1410-4(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)}$$

kde:

$M = (\% \text{ prachu} + \% \text{ práškového piesku}) \times (100 - \% \text{ ílu})$

$a = \% \text{ organickej hmoty}$

$b = \text{trieda štruktúry ornice}$

$c = \text{trieda priepustnosti pôdneho profilu [12]}$

Ďalšou možnosťou určenia faktoru K je určenie pomocou nomogramu, alebo podľa BPEJ.

BPEJ alebo bonitovaná pôdno-ekologická jednotka predstavuje 5 miestny kód. Tento kód sa vzťahuje na poľnohospodárske pozemky a slúži pre vyjadrenie hlavných pôdnych a klimatických podmienok. Využíva sa napríklad pri určovaní erózie, pri oceňovaní pôd, alebo pri návrhu nových pozemkov. Jednotlivé číslice kódu BPEJ majú rôzny význam:

- prvá číslica - príslušnosť ku klimatickému regiónu
- druhá a tretia číslica - príslušnosť k hlavnej pôdnej jednotke (HPJ)
- štvrtá číslica - kombinácia svaživosti a expozície pozemku k svetovým stranám
- piata číslica - kombinácia hĺbky profilu a jeho skeletovosti [25]

K určení faktoru K sa využíva druhá a tretia číslica kódu BPEJ. Tieto číslice predstavujú hlavné pôdne jednotky (HPJ). HPJ je tvorené 78 jednotkami (01 - 78), ktoré tvoria zoskupenie genetických pôdnych typov, subtypov, pôdotvorných substrátov, zrnitosti, hĺbky pôdy, typov a stupňov hydromorfizmu a reliéfom územia.

Pri spracovaní bakalárske práce bola použitá metóda určenia faktoru K pomocou HPJ. Spracovanie tohto faktoru pre potreby mojej práce bude spomenuté neskôr.

Tabuľka 5: Hodnota faktoru K pre jednotlivé HPJ [12]

HPJ	Faktor K	HPJ	Faktor K	HPJ	Faktor K	HPJ	Faktor K
01	0,41	15	0,60	29	0,34	45	0,48
02	0,46	16	0,30	30	0,26	46	0,55
03	0,39	17	0,29	31	0,21	47	0,50
04	0,17	18	0,42	32	0,30	48	0,39
05	0,40	19 - s - t	0,49 - 0,42	33	0,45 - 0,30	49	0,49
06	0,30	20	0,34	34	0,26	50	0,33
07	0,29	21	0,16	35	0,24	51	0,20
08	0,65 ^{a/}	22	0,20	36	0,22	52	0,34
09	0,53	23	0,18	37 - 39 c/		53	0,36
10	0,52	24 - s - t	0,52 - 0,43	40 - 41 d/		54	0,35
11	0,55	25	0,49	42	0,52	55 - 63 e/	
12	0,48	26	0,49	43	0,61	64 - 76 f/	
13	0,55 ^{b/}	27	0,30	44	0,57	77 - 78 g/	
14	0,66	28	0,35				

Vysvetlivky - uvedené hodnoty sú priemerné hodnoty
pre danú jednotku
- pri veľkej šírke vymedzenia niektorých
jednotiek sú uvedené priemerné hodnoty
krajných medzí (s - stredné, t - ťažké)

6.1.2 Faktor C

Vegetácia zohráva veľkú úlohu pri určovaní erózie. Poskytuje prirodzenú ochranu pôdy pred eróznymi činiteľmi, a preto netreba ochranu pôdy vegetáciou pri určovaní intenzity erózie zanedbávať. Ochranný účinok vegetácie sa môže v niektorých prípadoch prejavovať až tak, že dôjde k takmer úplnému zabráneniu erózie aj na strmých svahoch husto pokrytých vegetáciou. Ochranný vplyv vegetácie závisí hlavne na druhu vegetácie. Najlepšie chránia pred eróziou lesné porasty. Trávnaté porasty poskytujú rovnakú alebo o niečo menšiu ochranu, ktorá je však dostatočná. Na rozdiel od lesov a trávnatých porastov majú poľnohospodárske plodiny výrazne menší ochranný vplyv. Z nich chránia pôdu najlepšie viacročné krmoviny a obilniny. Najmenej z poľnohospodárskych plodín chránia pôdu pre eróziu napríklad zemiaky, repa, alebo kukurica.

Účinok vegetácie na ochranu pôdy pred eróziou môže byť priamy alebo nepriamy. Pod priamym účinkom chápeme napríklad zadržiavanie zrážok na listoch rastlín a na ich zvyškoch (intercepcia), alebo vytváranie prekážok rastlinami pri odtoku vody. Za nepriamy účinok vegetácie na ochranu pôdy pred eróziou môžeme považovať účinok koreňov rastlín na pôdu. Korene pomáhajú k spevňovaniu pôdy a taktiež sa podieľajú na zvýšení vsakovania (infiltrácie) vody do pôdy.

Pri modelovaní erózie modelom RUSLE alebo jeho upravenými tvarmi sa na vyjadrenie ochranného účinku vegetácie používa C-faktor. Podľa [8] je C-faktor definovaný ako pomer odnosu pôdy z pozemku porasteného určitým rastlinstvom ku odnosu z nakypreného čierneho úhoru. Mnoho autorov uvádza hodnoty C-faktoru len pre poľnohospodárske plodiny, čo je pre moju bakalársku prácu nedostačujúce. Spracovanie tohto faktoru bude podrobnejšie popísané neskôr.

6.1.3 Faktor LS

Výrazný vplyv na intenzitu erózie má okrem vegetácie alebo vlastností pôdy aj reliéf. Spomenuté vlastnosti pôdy môžu mať dokonca menší vplyv ako práve reliéf. Vplyv reliéfu je možné vďaka jeho mechanickej podstate určiť ľahšie ako ďalšie faktory vstupujúce do rovnice. Určenie vplyvu reliéfu je tiež jednoduchšie, pretože parametre reliéfu sú vďaka ich stálosti ľahko merateľné. Vlastnosti pôdy sa môžu sezónne meniť hlavne vplyvom obrábania pôdy. Vegetácia sa taktiež mení v závislosti na ročnom období ale svah ostáva časovo nemenný ak na ňom neprebehnú rôzne terénne úpravy.

Rovnica RUSLE zahŕňa vplyv reliéfu v LS-faktore. LS-faktor predstavuje vplyv topografie na množstvá pretransportovanej pôdnej hmoty. Tento faktor sa skladá z dvoch faktorov, ktoré je možné určiť samostatne. Sú to faktor dĺžky svahu (L) a faktor sklonu svahu (S). Vplyv sklonu a dĺžky svahu na intenzitu sa prejavuje hlavne na rýchlosti odtoku vody zo svahu a tiež jej množstve. S rastúcim sklonom a dĺžkou svahu sa rýchlosť vody tečúcej po povrchu zvyšuje a tým sa znižuje čas na jej vsiaknutie do pôdy a intenzita erózie sa zvyšuje. LS-faktor je možné určiť zo vzťahu

$$LS = l_d^{0,5} (0,0138 + 0,0097 s + 0,0138 s^2)$$

kde:

l_d - neprerušená dĺžka svahu (m)

s - sklon svahu (%)

Sklon svahu je vyjadrený S-faktorom, ktorého definícia podľa [8] znie: S-faktor vyjadruje pomer straty pôdy z plochy s určitým sklonom ku strate pôdy z plochy so štandardným sklonom 9%. Zachar v [23] tvrdí, že čím je svah strmší, tým sa zvyšuje odtokový koeficient, zvyšuje sa tiež kinetická energia a kapacita odnosu povrchového odtoku. Tým sa znižuje stabilita pôdy a svahu. Z toho vyplýva, že pravdepodobnosť erózie sa s rastúcim sklonom zvyšuje. S-faktor je možné odvodiť zo vzťahu:

$$S = (0,43 + 0,30l + 0,043l^2) / 6,613$$

kde:

l - sklon svahu (%).

Tabuľka 6: Strata pôdy spôsobená eróziou na svahoch rôznych sklonov v Azerbajdžane [23]

sklon svahu	rozsah	10-15°	16-25°	26-30°	31-40°
	priemer	12,5°	20°	27,5°	35°
strata pôdy [t ha ⁻¹]		61,4	148,5	195	240,5
zvýšenie straty pôdy so zvyšujúcim sa sklonom [t ha ⁻¹]		61,4	87,9	46,5	45,5

Dĺžka svahu je vyjadrená L-faktorom, ktorý je v [8] definovaný ako faktor, ktorý vyjadruje pomer straty pôdy z plochy určitej dĺžky ku strate pôdy z plochy so štandardnou dĺžkou 22,13 m. Zachar v [23] uvádza, že dĺžka svahu je dôležitá hlavne vzhľadom na zvýšenie toku vody na svahoch a na stupeň jej sútok. S rastúcou dĺžkou svahu sa predpokladajú väčšie straty pôdy, pretože množstvo vody rastie a s tým rastie aj jej rýchlosť a mení sa aj kapacita odnesených častíc. Podľa Zachara to tak vždy nie je. Tvrdí, že už došlo aj k situáciám, kedy sa s rastúcou dĺžkou svahu straty pôdy znižovali. Tento faktor je možné odvodiť zo vzťahu:

$$L = (l_d/22,13)^p$$

kde:

l_d - neprerušená dĺžka svahu (m)

p - exponent zahrňajúci vplyv sklonu svahu

Tabuľka 7: Hodnoty exponentu p pre rôzne sklony svahu [8]

sklon (%)	p
10,0	0,6
5,0 - 9,9	0,5
3,1 - 4,9	0,4
1,0 - 3,0	0,3
< 1,0	0,2

6.1.4 Faktor P

Pôdu môžeme pred eróziou chrániť zavedením protieróznych opatrení. Pod pojmom protierózne opatrenie alebo ochrana si môžeme predstaviť súbor opatrení, ktoré slúžia na to, aby v procese hospodárenia na pôde nedochádzalo k jej úbytku a zhoršovaniu jej úrodnostných vlastností. [8] Najväčším problémom je v súčasnosti pomalé alebo takmer žiadne zavádzanie protieróznych opatrení, čo môže mať veľký dopad na znehodnotenie napríklad poľnohospodárskej pôdy.

Podľa [8] sa protierózne opatrenia na poľnohospodárskej pôde delia:

- a) opatrenia proti plošnej a ryhovej erózií
 - a. usporiadanie pôdneho fondu
 - b. protierózne oševné postupy
 - c. protierózna agrotechnika (vrstevnicová orba, brázdovanie, podrývanie, ...)
 - d. chemické a biochemické protierózne opatrenia
 - e. technické protierózne opatrenia
- b) opatrenia proti výmoľovej erózií

V rovnici RUSLE sú protierózne opatrenia zohľadnené v P-faktore. Tento faktor je definovaný ako pomer odnosu pôdy za použitia určitého protierózneho opatrenia ku zodpovedajúcemu odnosu z plochy oranej po spádnici. [8]

Tabuľka 8: Hodnoty faktoru P [12]

Protierózne opatrenie	Sklon svahu			
	2 - 7 %	7 - 12 %	12 - 18 %	18 - 24 %
Maximálna dĺžka pozemku po spádnici pri vrstevnicovom obrábaní	120 m 0,6	60 m 0,7	40 m 0,9	- 1,0
Maximálna šírka a počet pásov pri pásovom striedaní	40 m 6 pásov	30 m 4 pásy	20 m 4 pásy	20 m 2 pásy
- okopanín s viacročnými krmovinami	0,30	0,35	0,40	0,45
- okopanín s ozimnými obilninami	0,50	0,60	0,75	0,90
Hrádzkovanie, resp. prerušované brázdovanie pozdĺž vrstevníc	0,25	0,3	0,4	0,45
Terasovanie	0,05 - 0,20			

V prípade, že nemôžeme predpokladať použitie protieróznych opatrení, bude hodnota P-faktoru v rovnici RUSLE nastavená na $P = 1$.

6.1.5 Faktory k, SZP

Faktor **k** predstavuje hodnotu odtokového koeficientu. Odtokový koeficient vyjadruje pomer vody odtečenej v riekach a zrážok v povodí. Vyjadruje sa v percentách. Podľa [16] sa $k = 0,5$ v období, kedy sa sneh topí a pôda je nasýtená vodou. Zachar v [23] uvádza, že tento faktor sa musí ešte prenasobiť číslom z intervalu 1,5 - 3. Tento interval uvádzajú v [16] ako samostatný faktor SZP.

SZP predstavuje súčiniteľ pre zamrznutú pôdu. Hodnota tohto faktoru sa určuje na základe premrznutia pôdy. Pri tom sa berie ohľad na erodovateľnosť pôdy a tiež na možnosť infiltrácie vody do pôdy. Hodnota 1,5 sa volí v prípade, keď nie je v období topenia snehu pôda premrznutá. Hodnota 2 sa volí, keď je pôda plne premrznutá a hodnota 3 sa volí vtedy, keď je nad premrznutou pôdou rozmrznutá pôda. V prípade, že tieto údaje nepoznáme, použijeme hodnotu $SZP = 2$.

6.1.6 Faktor h

Tento faktor predstavuje množstvo vody, ktoré vznikne v približne dvadsaťdennom období, kedy dochádza k najintenzívnejšiemu topeniu snehu. Množstvo vody vzniknuté pri topení snehu má na eróziu spôsobenú topením snehu veľký vplyv a úzko s týmto druhom erózie súvisí. Tento faktor sa určuje na základe vodnej hodnoty snehu. Vodná hodnota snehu sa označuje SVH (SWE - Snow Water Equivalent) a predstavuje množstvo alebo

hĺbkou vody obsiahnutej v snehovej pokrývke, ktorá by vznikla teoreticky vznikla, ak by sa snehová pokrývka okamžite roztopila. [39]

Množstvo vody, ktoré vznikne pri topení môže byť rôzne pre rôzne typy vegetačného krytu. Na voľných priestranstvách bude množstvo vody väčšie ako v lesoch, pretože v lesoch dochádza k tzv. interkepcii. Znamená to, že koruny stromov zachytávajú určité množstvo snehových zrážok a na povrchu sa teda nachádza menšie množstvo snehu ako na voľnom priestranstve. Z toho je možné usúdiť, že aj množstvo vody z roztopeného snehu bude v lesoch menšie. K topeniu snehu však dochádza aj na korunách stromov nie len na povrchu. Okrem topenia dochádza aj k vyparovaniu snehu, ktoré tiež ovplyvňuje množstvo vody z topiaceho sa snehu. Taktiež nie všetok sneh sa na korunách udrží. Vplyvom vetra alebo aj vlastnej váhy sa môže dostať z korún na povrch, kde sa následne roztopí.



Obrázok 8: Interkepcia ihličatým lesom [10]



Obrázok 9: Interkepcia listnatým lesom [10]

Na území Českej republiky vodnú hodnotu meria ČHMÚ. SVH sa meria každý týždeň v pondelok na všetkých klimatologických a zrážkomerných staniciach (približne 800 staníc). K tomu, aby došlo k meraniu vodnej hodnoty snehu musí existovať súvislá snehová pokrývka s hĺbkou minimálne 4 cm. V prípade, keď je snehová pokrývka nesúvislá alebo menšia ako 4 cm, sa vodná hodnota neurčuje. Merania, ktoré prebiehajú na staniciach sa uskutočňujú v blízkosti stanice a merajú sa vždy pre jeden bod. Stanice sa väčšinou nachádzajú mimo lesa na voľnej ploche. Okrem meraní na staniciach môže dôjsť podľa potreby aj k nepravidelným meraniam vodnej hodnoty snehu, ktoré môžu prebiehať ako na voľných plochách, tak aj v lesoch. V tomto prípade dochádza k meraniu v profiloch, čo znamená, že sa vodná hodnota snehu meria vo viacerých bodoch. Tieto body sa nachádzajú na miestach s rôznym vegetačným krytom, orientáciou svahu ale

v rovnakej nadmorskej výške. Tento spôsob merania vodnej hodnoty snehu sa používa hlavne vtedy, keď je na miestach s nedostatočnou sieťou staníc snehová pokrývka najvyššia, alebo pred predpokladaným topením snehu. Merania sú vykonávané nepravidelne aj z toho dôvodu, že sú fyzicky aj časovo náročné. [14] [16]

Vodná hodnota snehu sa môže merať dvoma spôsobmi. Prvý spôsob, ktorý sa používa hlavne v nížinách je meranie pomocou zrážkomernej nádoby. Tento spôsob sa nazýva aj objemová metóda podľa toho, akým spôsobom sa vodná hodnota určuje. Zrážkomernou nádobou so známym priemerom sa odoberie valec zo snehovej pokrývky až po pôdu a následne sa nechá sneh v nádobe pri izbovej teplote roztopiť. Objem vody, ktorá vznikla roztopením, sa prevedie v špeciálne kalibrovanom odmernom valci na milimetre. Druhým spôsobom určenia vodnej hodnoty snehu je určenie pomocou váhového snehomeru. Tento spôsob sa nazýva aj hmotnostná metóda. Táto metóda spočíva v odobratí celej vrstvy snehovej pokrývky váhovým snehomerom. Je to dlhá, úzka, valcová nádoba, ktorá sa zarazí až po pôdu do snehovej pokrývky a po jej vytiahnutí v nej ostáva sneh, ktorý sa následne zváži a prepočíta na vodnú hodnotu. Táto metóda sa používa najmä vo vyšších oblastiach.

Pri meraní vodnej hodnoty môžu nastať rôzne problémy, ako napríklad nahŕňanie snehu pred valcom pri zarazení do snehu, čím sa do nádoby dostane menšie množstvo snehu a určí sa menšia vodná hodnota snehu. K ďalšiemu problému ktorý zťažuje meranie dochádza pri použití nádoby s veľkým priemerom. Vtedy sa nemusí podariť odobrať vzorku na prvý krát. Meranie vodnej hodnoty snehu teda nie je jednoduchá záležitosť a ani pri dôkladne vykonanej práci nie je stopercentná istota, že nameraná hodnota je správna a odpovedá realite. [14]

Podrobnejší postup určenia h-faktoru bude popísaný neskôr.

6.1.7 Faktor m

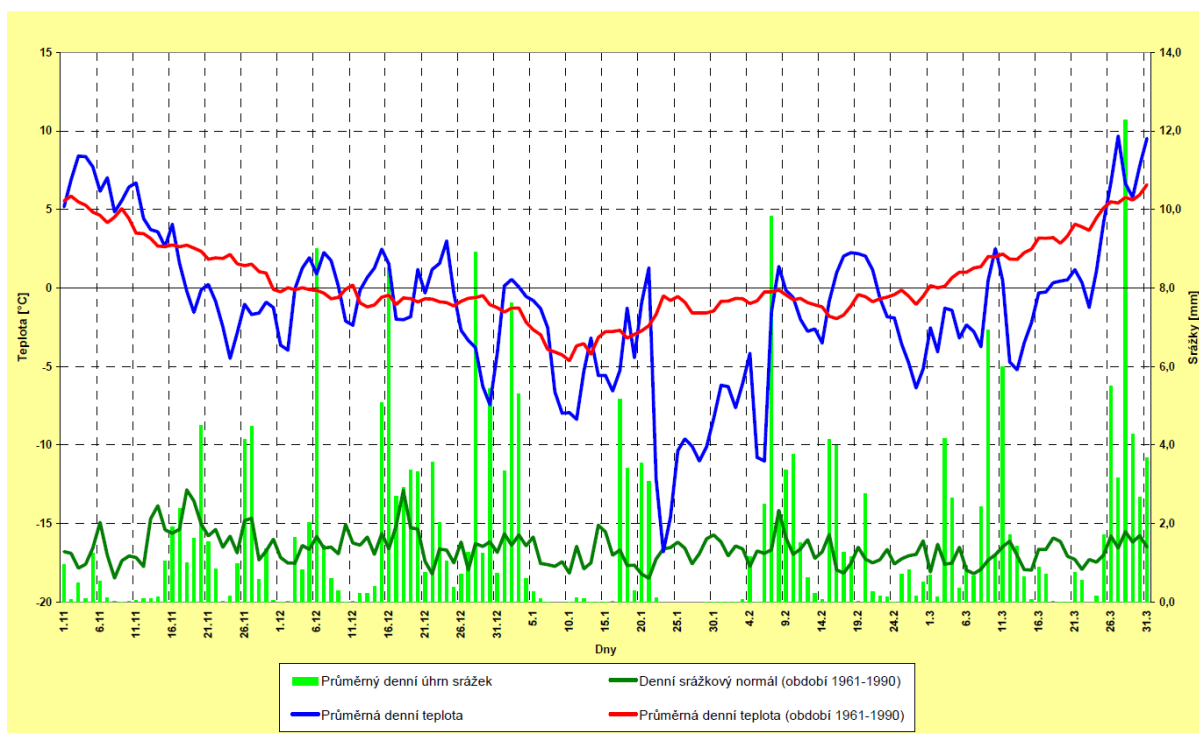
Tento faktor predstavuje rýchlosť topenia snehu. Určuje sa v milimetroch za deň a tiež pre približne dvadsaťdenné obdobie, v ktorom dochádza k najintenzívnejšiemu topeniu snehu. Zachar v [23] uvádza, že v prípade, keď je topenie snehu ovplyvnené aj dažďovými zrážkami, môže hodnota tohto faktoru narásť o 50 alebo až 100%.

Rýchlosť topenia snehu závisí od toho, či sa snehová pokrývka nachádza v lese alebo na voľnom priestranstve. V prípade voľného priestranstva sa sneh topí omnoho rýchlejšie ako v lese. Môže to byť spôsobené tým, že je snehová pokrývka vystavená priamemu pôsobeniu slnečných lúčov, zatiaľ čo v lese sa sneh nachádza v tieni. K rozdielnej rýchlosti topenia snehu dochádza aj v rámci lesov. Záleží to od druhu dreviny. Listnaté lesy sa vyznačujú rýchlejšim topením snehu ako ihličnaté lesy. Na rýchlosť topenia snehu tiež vplýva úroveň premrznutia pôdy. V období, kedy je pôda zamrznutá môže dôjsť k rýchlemu topeniu snehu, vzniknutá voda sa nebude vsakovať do pôdy a môže spôsobiť výraznú eróziu. [9] [33]

7 VÝBER EPIZÓDY

Pre modelovanie erózie spôsobenej topením snehovej pokrývky je dôležitý výber epizódy, kedy dochádzalo k najväčšiemu topeniu snehu. Ako prvé bolo potrebné zvoliť rok, v ktorom sa bude modelovať, aby sa preň následne mohli získať všetky potrebné dáta. Voľba padla na rok 2006. Bolo to hlavne preto, že na jar tohto roku sa na území Českej republiky nachádzalo veľké množstvo snehu, z ktorého následne vznikli aj povodne, a preto sa predpokladalo, že by mohlo dôjsť aj k výraznejšej erózií z topenia snehu.

Už koncom roka 2005 sa začal hromadiť sneh, ktorý vďaka prevládajúcim nízkym teplotám vydržal až do marca 2006. V druhej polovici marca sa začali teploty zvyšovať a bohaté zásoby snehu sa začali topiť. K topeniu snehu prispeli aj zrážky vo forme dažďa. Následne z veľkého množstva vody došlo k už spomínanej povodni. Pri výbere epizódy však táto povodeň nehrala takú úlohu ako to, čo jej predchádzalo. Pre predstavu situácie v zime 2005/2006 sú v nasledujúcom obrázku (obrázok 10) zobrazené priemerné denné teploty a úhrny zrážok pre zimu 2005/2006 a ich porovnanie s denným zrážkovým a teplotným normálom od roku 1961 - 1990.

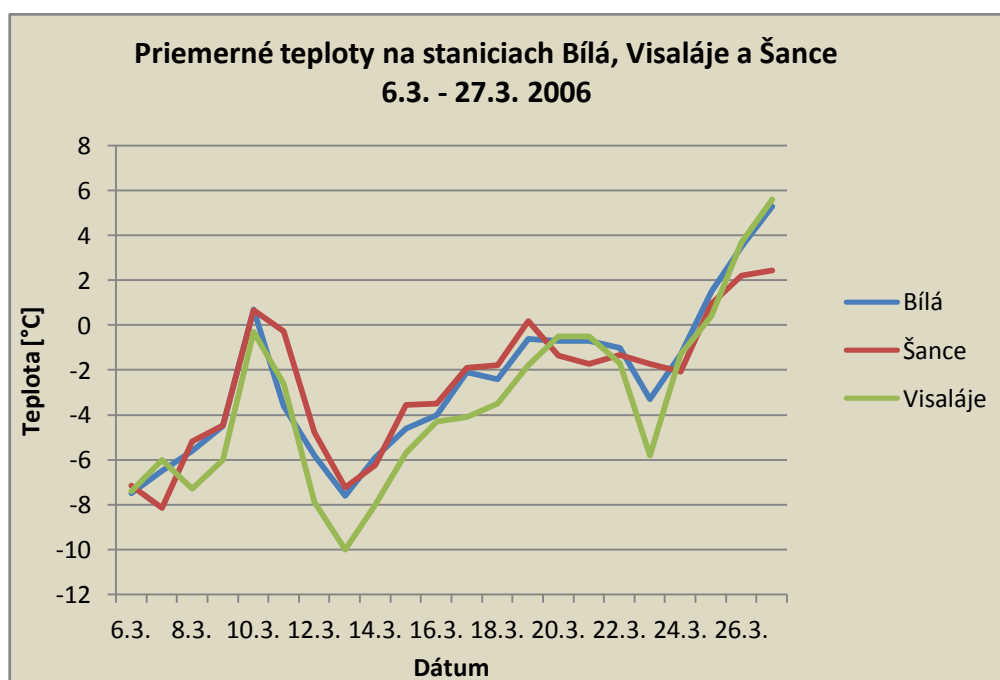


Obrázok 10: Priemerná denná teplota a úhrn zrážok v ČR v zime 2005/2006 [14]

Z definície faktorov **h** a **m** z upravenej rovnice RUSLE je jasné, že voľba epizódy neostane len pri výbere roku. V definícii je uvedené, že tieto faktory sa určujú pre približne dvadsaťdenné obdobie, kedy dochádza k najintenzívnejšiemu topeniu. K určeniu počiatočného a koncového dátumu epizódy boli použité údaje o vodnej hodnote snehu,

ktoré mi boli poskytnuté z ČHMÚ. Na základe týchto dát sa určilo niekoľko rozdielov vodnej hodnoty snehu pre rôzne začiatkové a na koncové dátumy v rozpätí 21 dní, pretože na klimatologických staniciach ČHMÚ sa meria vodná hodnota snehu raz za týždeň vždy v pondelok. Do týchto výpočtov nebolo zahrnuté vyparovanie snehu, pretože dosahuje zanedbateľné hodnoty a netreba ho brať do úvahy. Najväčší rozdiel vo vodnej hodnote snehu pripadol na obdobie od 6.3. do 27.3.. Toto obdobie sa na základe tohto výsledku zvolilo pre výpočet erózie z topenia snehu.

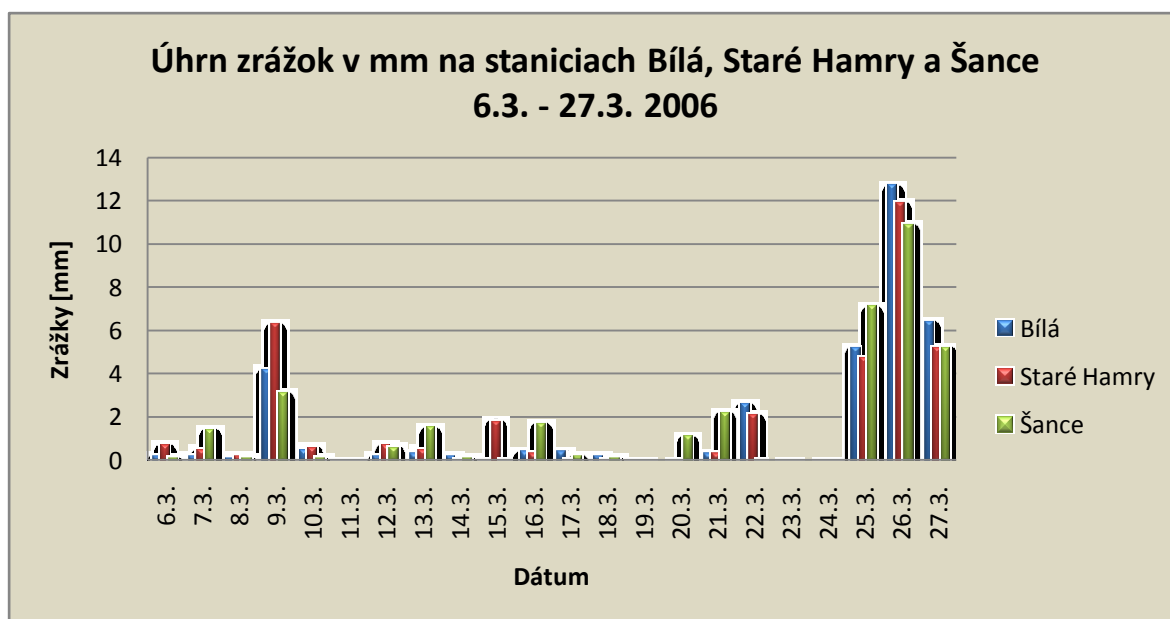
Na začiatku tohto obdobia sa teploty v povodí rieky Ostravice pohybovali pod nulou. Ako je možné vidieť z grafu 1, teploty od začiatku epizódy rástli až kým sa nedostali k nule medzi 10. a 11. marcom. Následne opäť klesli na vybraných staniciach na takmer -8°C , na stanici Visaláje až na -10°C . Od 13.3. teploty už pod túto hodnotu neklesli a naďalej rástli. Na konci epizódy sa teploty dostali nad hodnotu 0°C . Od 23.3. došlo k výraznému nárastu teplôt a to v spojení s dažďovými zrážkami spôsobilo značné topenie snehu, ktoré v ďalších dňoch prispelo k vzniku povodní. Podľa [14] boli teploty v tomto období nižšie ako normálne teploty (priemerná denná teplota 1961 - 1990).



Graf 1: Priemerné teploty na vybraných staniciach v období od 6.3. do 27.3. 2006

Z hľadiska zrážok bolo obdobie od 6.3. do 27.3. relatívne suché. Z grafu 2 je vidieť, že priemerný úhrn zrážok sa na vybraných staniciach pohyboval pre väčšinu dní od 0 do 2 mm. Od 8.3. do 10.3. nastali výraznejšie zrážky. Tieto zrážky boli spôsobené pravdepodobne príchodom vyšších teplôt práve v týchto dňoch. S ďalším príchodom tepla na konci epizódy sa taktiež výrazne zvýšil úhrn zrážok. Z grafu 2 je možné vidieť, že na

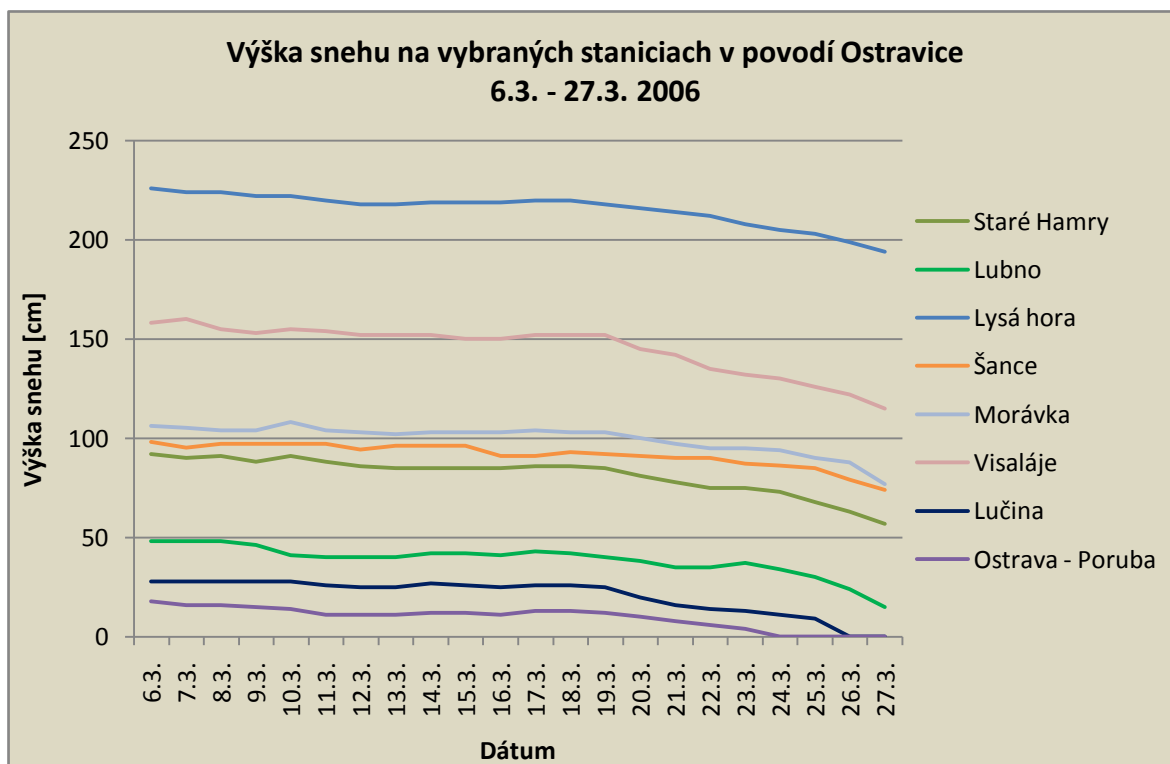
stanici Bílá dosahoval úhrn zrážok maximum v danej epizóde a to 13 mm. Hlavne zrážky na konci epizódy prispeli k výraznému topeniu snehu.



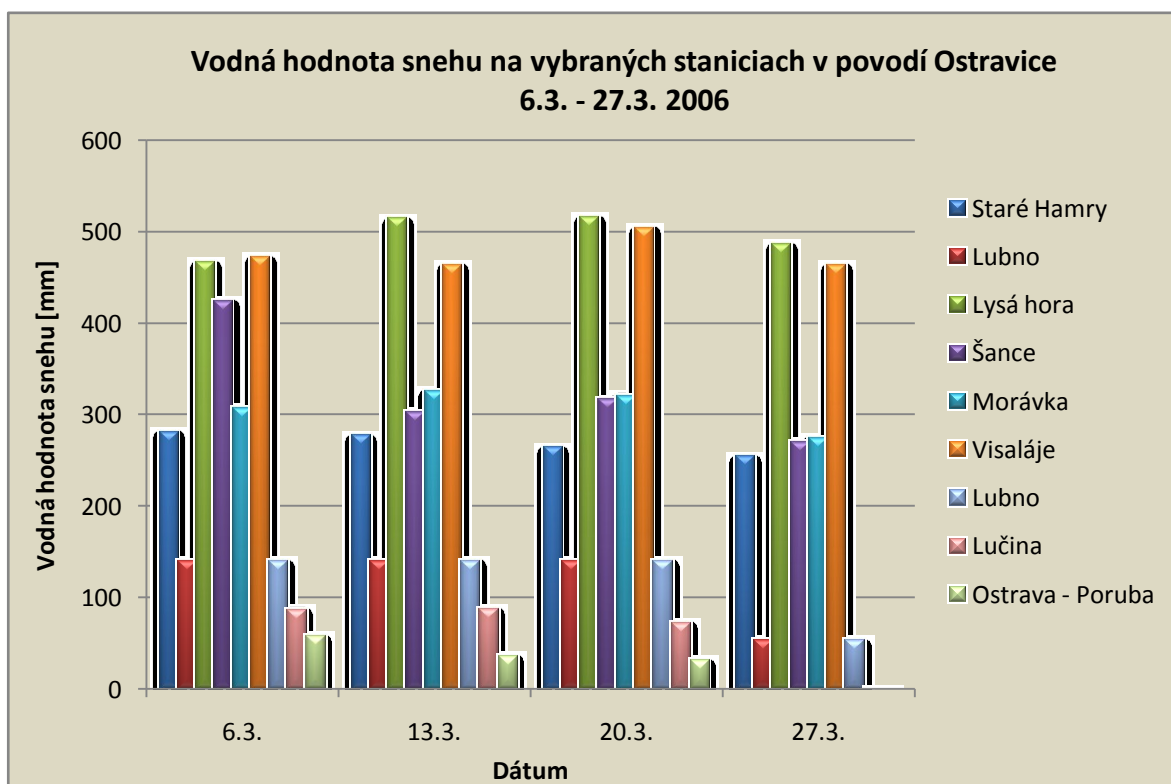
Graf 2: Úhrn zrážok na vybraných staniciach v období od 6.3. do 27.3. 2006

Zima 2005/2006 bola charakteristická hlavne vďaka veľkým množstvám snehu. Na začiatku marca došlo na území ČR k výdatnému sneženiu. To malo podľa [14] za následok druhé najväčšie maximum priemernej výšky snehovej pokrývky. Z grafu 3 je vidieť, že snehová pokrývka si od začiatku epizódy po 20.3. udržiavala približne konštantnú výšku. Po tomto dátume sa začal sneh topiť a s príchodom výrazného oteplenia a tiež s príspevom dažďových došlo k ešte výraznejšiemu topeniu snehu a teda aj k poklesu výšky snehovej pokrývky. Z grafu 3 je tiež možné vidieť, že najvyššia snehová pokrývka sa nachádzala na Lysej hore, kde dosahovala na začiatku epizódy takmer 2,5 metra. Najmenej snehu bolo na stanici Olešná, kde sa po 20.3. nenachádzala už žiadna snehová pokrývka.

S výškou snehovej pokrývky súvisí taktiež jej vodná hodnota. Vodná hodnota snehu si od začiatku epizódy, podobne ako výška snehu, držala približne konštantné hodnoty na väčšine staníc v povodí. V grafe 4 je vidieť, že na stanici Šance však došlo k výraznému poklesu vodnej hodnoty snehu zo 6.3. na 13.3.. K podobnej situácii došlo aj na Lysej hore, kde sa však medzi týmito dňami vodná hodnota zvýšila. Od 20.3. sa vplyvom vyššie spomenutého nárastu teplôt, spojeného so zrážkami, začala snehová pokrývka topiť a teda sa aj začala znižovať jej vodná hodnota, vid' mapová príloha (mapa 3).

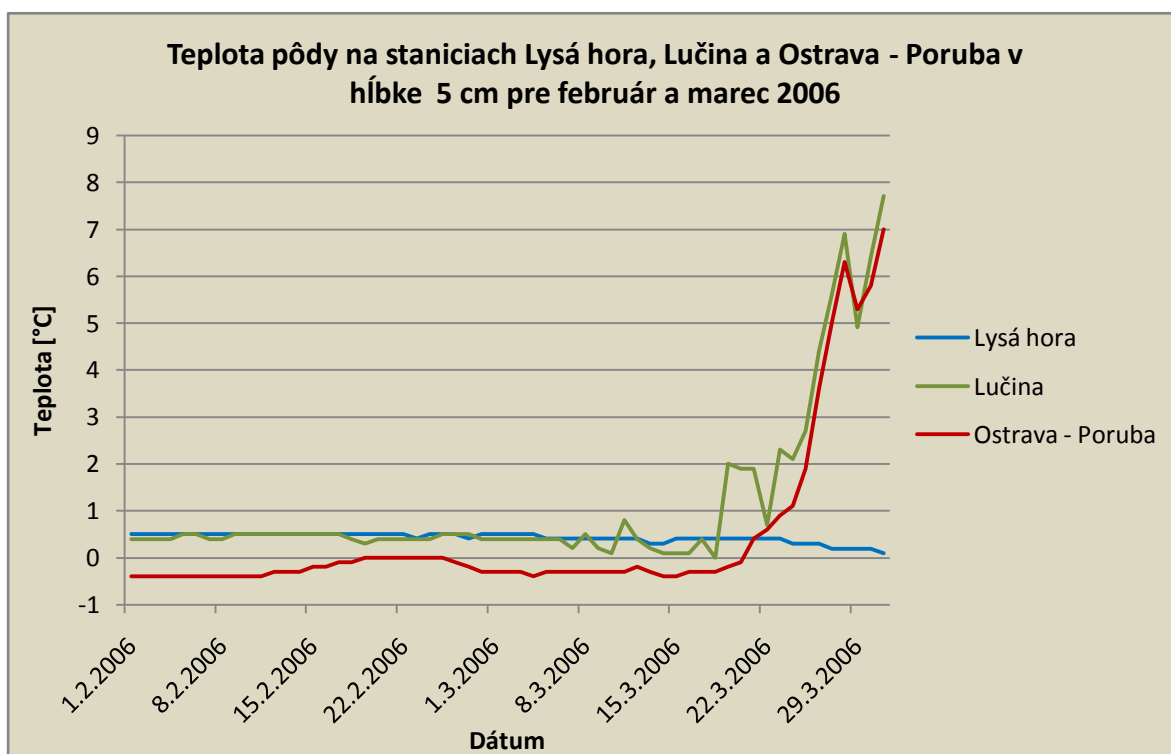


Graf 3: Výška snehu na klimatologických staniciach v povodí rieky Ostravice v období od 6.3. do 27.3. 2006

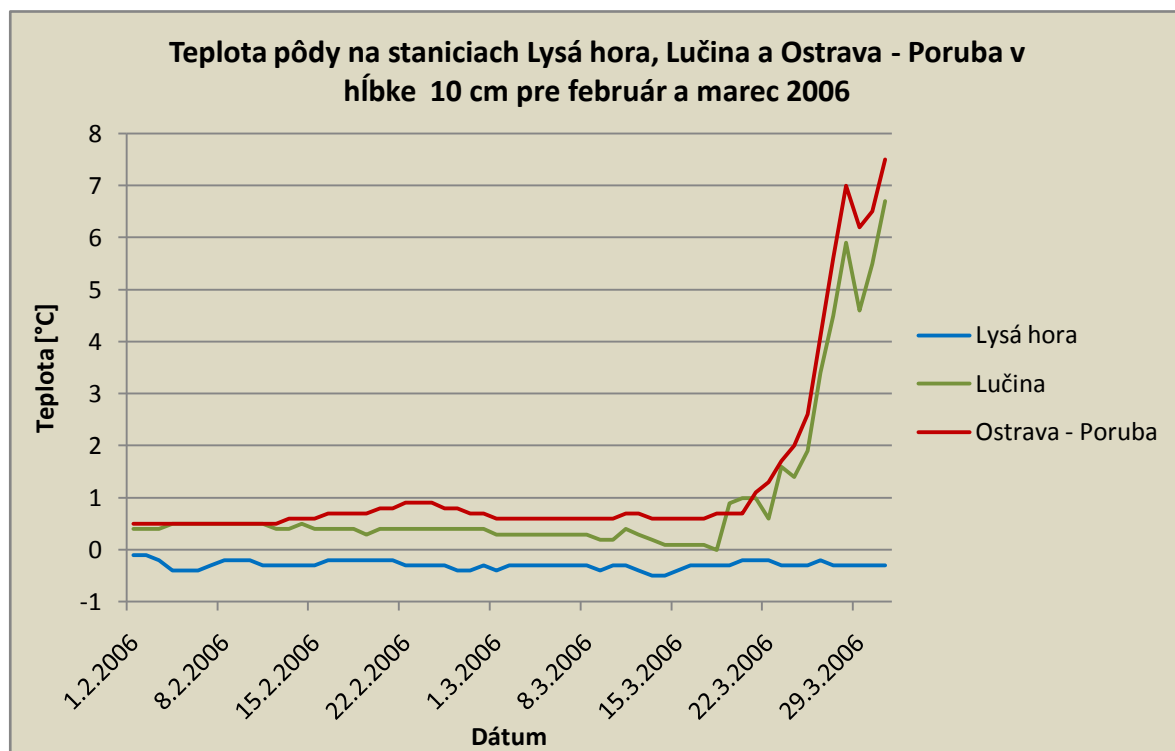


Graf 4: Vodná hodnota snehu na klimatologických staniciach v povodí rieky Ostravice v období od 6.3. do 27.3. 2006

Pre určenie intenzity erózie z topenia snehu je dôležité poznať aj úroveň premrznutia pôdy. K určeniu úrovne premrznutia je dôležité poznať teplotu pôdy v danej epizóde a taktiež aj v období pred ňou. Podľa [14] boli pôdy na celom území ČR v polohách nižších ako 600 m n. m. premrznuté až do polovice marca. Z grafu 5 je vidieť, že teploty pôdy sa pohybovali v rozmedzí $-0,5$ až $0,5$ °C prakticky celý február až do polovice marca. Do polovice marca boli na stanici Lučina teploty pôdy v hĺbke 5 cm aj 10 cm približne rovnaké, okolo $0,5$ °C. Na stanici Ostrava - Poruba boli teploty pôdy v hĺbke 10 cm približne o 1 °C vyššie ako v hĺbke 5 cm. Opačne to bolo na stanici Lysá hora. Približne od polovice marca, kedy prišlo výrazné oteplenie a zrážky, sa teploty pôdy na staniciach Lučina a Ostrava - Poruba začali rapídne zvyšovať. Na konci vybranej epizódy boli na oboch staniciach teploty približne 7 °C. Na stanici Lysá hora však k otepleniu pôd nedošlo a teploty sa držali naďalej na hodnotách okolo 0 °C.



Graf 5: Teploty pôdy pre stanice Lysá hora, Lučina a Ostrava - Poruba v hĺbke 5 cm pre február a marec 2006



Graf 6: Teploty pôdy pre stanice Lysá hora, Lučina a Ostrava - Poruba v hĺbke 5 cm pre február a marec 2006

8 SPRACOVANIE VSTUPNÝCH DÁT A TVORBA VÝSTUPOV

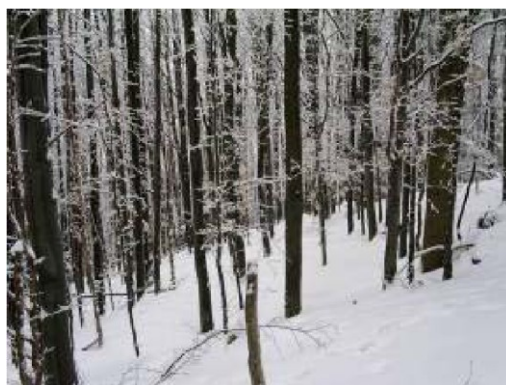
Pre určenie intenzity erózie spôsobenej topením snehovej pokrývky pomocou upravenej rovnice RUSLE je dôležité spracovať niekoľko faktorov, ktoré do tejto rovnice vstupujú. Postup práce, spracovanie vstupných dát, ako aj tvorba výstupov bude popísaný pre jednotlivé faktory rovnice v nasledujúcej časti práce.

C-faktor

Ochranný vplyv pôdy je podľa mnohých autorov odvodený len pre poľnohospodárske plodiny. Podľa Wischmeiera a Smitha sú v [12] uvedené hodnoty tohto faktoru pre obilniny, kukurice alebo napríklad zemiaky. Keďže na zvolenom území sa vyskytuje mnoho iných druhov vegetačného krytu, nebolo možné tieto hodnoty použiť. K určeniu faktoru ochranného vplyvu vegetácie bola využitá vrstva CORINE Land Cover 2006. V tejto polygómovej vrstve je zvolené územie rozdelené do 18 rôznych kategórií vegetačného krytu. Každému typu je priradený kód CODE_06. Na základe tohto kódu bola každému typu vegetačného krytu priradená hodnota C-faktoru. Jednotlivé hodnoty tohto faktoru predstavujú ochranný vplyv vegetácie a platí pre ne to, že čím vyššia hodnota, tým menšia ochrana pred eróziou. Pri určovaní hodnôt som vychádzal z práce [13], kde boli hodnoty C-faktoru vyjadrené podľa kódov z CORINE Land Cover. Hodnoty pre jednotlivé kategórie sú uvedené v tabuľke 9. Pre listnatý aj ihličnatý les sú uvedené rovnaké hodnoty ochranného vplyvu. Hodnota pre listnaté lesy bola zvýšená z hodnoty 0,005 na 0,01. Dôvodom bolo to, že listnatý les zachytáva menšie množstvo snehu ako ihličnatý les, teda pri ihličnatom lese dochádza k väčšej interkepcii. Rozdiel v interkepcii jednotlivými druhmi lesa je vidieť z obrázkov 11 a 12. Po priradení jednotlivých hodnôt bolo potrebné ešte transformovať vektorovú vrstvu CORINE Land Cover na rastrovú s nastavenou hodnotou C-faktoru. Tento krok bol potrebný pre finálny výpočet erózie, pretože do upravenej rovnice RUSLE vstupujú rastrové vrstvy. Rozloženie hodnôt C-faktoru v povodí a jednotlivých typov krajinného krytu je zobrazené v mape 4 a 5 v mapovej prílohe.



Obrázok 11: Výsledok interkepcie
ihličnatým lesom [10]



Obrázok 12: Výsledok interkepcie
listnatým lesom [10]

Tabuľka 9: Hodnoty C-faktoru pre jednotlivé typy vegetačného krytu

Kód	Typ vegetačného krytu	C-faktor
142	areály športu a voľného času	0,005
133	areály výstavby	0
122	cesty a železnice s príslušenstvom	0
312	ihličnaté lesy	0,005
311	listnaté lesy	0,01
231	lúky a pasienky	0,005
141	mestská zeleň	0
242	mozaika polí, lúk a trvalých kultúr	0,25
112	nesúvislá zástavba	0
211	nezavlažovaná orná pôda	0,25
222	ovocné sady a plantáže	0,35
324	prechodné lesokroviny	0,005
243	prevažne poľnoh. krajina s výrazným zastúpením prirodzenej veget.	0,1
121	priemyslové, alebo obchodné zóny	0
132	skládky a smetiská	0
111	súvislá zástavba	0
512	vodné plochy	0
313	zmiešané lesy	0,005

K-faktor

Erodovateľnosť pôdy je možné určiť niekoľkými metódami. Pri spracovaní mojej bakalárskej práce som zvolil k určeniu K-faktoru metódu založenú na BPEJ. BPEJ je päťmiestny kód, ktorého druhé a tretie miesto predstavuje HPJ (hlavná pôdna jednotka). Podľa tohto kódu, ktorému je priradený pôdny typ, sa každému typu pôdy priradí hodnota tohto faktoru na základe prevodnej tabuľky (tabuľka 5). Pôdne typy v polygónovej vrstve, ktorá mi bola poskytnutá, však neodpovedali rozdeleniu HPJ. Pôdy v tejto vrstve boli rozčlenené podľa MKSP (Morfogenetický klasifikačný systém pôd). Určenie hodnoty K-faktoru teda spočívalo v určení HPJ pre každý typ pôdy členenej podľa MKSP a následné priradenie odpovedajúcej hodnoty faktoru podľa prevodnej tabuľky. Túto vrstvu bolo taktiež potrebné previesť do rastrovej podoby kvôli ďalšiemu spracovaniu. Rozloženie jednotlivých hodnôt faktoru, ako aj jednotlivé pôdne typy na území povodia rieky Ostravice je možné vidieť v mape 6 a 7 v mapovej prílohe.

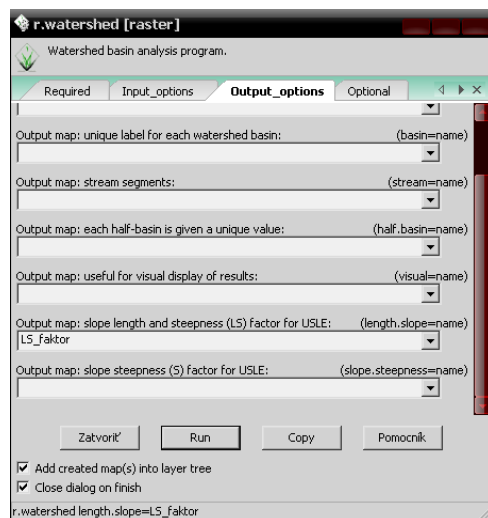
Tabuľka 10: Hodnoty K-faktoru pre jednotlivé pôdne typy podľa MKSP

MKSP	K-faktor
fluvizem (typická)	0,31
fluvizem glejová	0,34
glej (typický)	0,30
hnedozem luvizemná	0,25
kambizem (typická)	0,29
kambizem (typická) varieta kyslá	0,28
kambizem arenická	0,19
kambizem dystrická	0,20
kambizem eutrofná	0,23
kambizem pseudogeljová	0,30
kambizem pseudogeljová varieta kyslá	0,26
luvizem (typická)	0,30
luvizem pseudoglejová	0,30
organozem (bez rozlíšenia subtypu)	0,30
pararendzina (typická)	0,25
pararendzina kambizemná	0,30
podzol kambizemný	0,20
pseudoglej primárny	0,34
veľké mestá	0,00
veľké vodné plochy	0,00

LS-faktor

Faktor vplyvu sklonu a dĺžky svahu je možné určiť buď vzt'ahom, ktorý bol spomenutý vyššie, alebo softwarom, ktorý zahŕňa výpočet tohto faktoru. Keďže v programe ArcGIS je postup určenia LS-faktoru zložitý, bol použitý program GRASS GIS. Tento voľne dostupný program v sebe zahŕňa nástroj, ktorým je možné LS-faktor určiť jednoduchým spôsobom. Tým nástrojom je *r.watershed*, ktorý slúži pre analýzy povodí. Hlavným výstupom tohto nástroja je mapa povodí. Okrem toho je však týmto nástrojom možné vytvoriť viacero ďalších výstupov, medzi ktoré patrí aj LS-faktor. Ako vstup bol použitý výškový model (DEM). Tento raster bolo potrebné prekonvertovať do ASCII formátu a následne importovať do GRASSu. Následne sa nastavil v nástroji *r.watershed* ako vstupná vrstva výšok. Ďalej sa nastavila maximálna dĺžka svahu na 300 m, pretože pri použití svahov dlhších ako 300 m dochádza k zvyšovaniu chyby. Ako posledné sa nastavil v okne s vlastnosťami výstupov názov výstupu pre LS-faktor (obrázok 13). Vypočítané hodnoty bolo treba opäť exportovať do ASCII, upraviť hlavičku súboru a následne importovať do ArcGIS pre vytvorenie výstupu. Pred vytvorením výstupu bolo potrebné ešte hodnoty faktoru vydeliť hodnotou 100, pretože pri výpočte v *r.watershed* sa

hodnoty LS-faktoru automaticky vynásobia číslom 100. Hodnoty tohto faktoru a výškové pomery v povodí sú zobrazené v mape 8 a 9 v mapovej prílohe.



Obrázok 13: Okno nástroja r.watershed

Faktory P,k a SZP

P-faktor účinnosti protieróznych opatrení sa nastavil na hodnotu 1, pretože nie je možné predpokladať, že v danej oblasti boli použité nejaké protierózne opatrenia, a preto nie je možné počítat' s hodnotami tohto faktoru pre rôzne protierózne opatrenia.

Hodnota k-faktoru odtokového koeficientu sa odporúča nastaviť na $k = 0,5$ pre obdobie, kedy sa sneh topí a pôda je nasýtená vodou.

Hodnota odtokového koeficientu sa musí podľa [23] vynásobiť číslom z intervalu 1,5 - 3. Tento interval predstavuje súčiniteľ pre zamrznutú pôdu (SZP-faktor). Ako už bolo spomenuté v kapitole 6.1.5, hodnota 1,5 sa nastaví v prípade, že pôda nebola premrznutá, hodnota 2 v prípade premrznutia pôdy a hodnota 3 v prípade, že nad premrznutou pôdou sa nachádza rozmrznutá vrstva. Hodnotu tohto faktoru nie je ľahké určiť, pretože podmienky na jednotlivých klimatologických staniciach sa líšia. Problémom je tiež to, že v povodí Ostravice sa nachádzajú len tri stanice, na ktorých sa určuje teplota pôdy. Aj z toho dôvodu je obtiažne určiť hodnotu faktoru pre celé územie. Preto bol tento faktor určený orientačne na základe zhodnotenia teploty pôdy a výšky snehu v danom území. Úroveň premrznutia pôdy bola zhodnotená na základe údajov o teplote pôdy, ktoré mi boli poskytnuté z ČHMÚ. Použil som dáta z obdobia mesiac pred epizódou a z danej epizódy. V období od 1.2. až do približne 20.3. sa teploty pôdy v hĺbkach do 10 cm pohybovali na všetkých troch staniciach v povodí v intervale -0,5 až 0,5 °C. Po tomto dátume došlo k výraznému otepleniu pôd, keď sa na konci epizódy vyšplhali teploty na všetkých troch staniciach až na 7 °C. Úroveň premrznutia pôdy závisí okrem iného na výške snehovej pokrývky na povrchu. Podľa [7] pri výške snehu väčšej ako 50 cm chráni sneh pôdu pred zamrzávaním a pôda nie je premrznutá. Vo februári bola výška snehu nad 50 cm nameraná na ôsmich zo

štrnástich klimatologických staníc v povodí a v marci na siedmich staniciach. Na základe týchto zistení a s potvrdením z vyhodnotenia jarnej povodne 2006 [14] som dospel k záveru, že pôda bola do polovice marca v nižších polohách povodia premrznutá a v polohách vyšších, z dôvodu súvislej snehovej pokrývky, nepremrznutá. Hodnotu súčiniteľa pre zamrznutú pôdu som preto nastavil na hodnotu 1,7, čo je približne stred medzi hodnotou pre premrznutú a nepremrznutú pôdu.

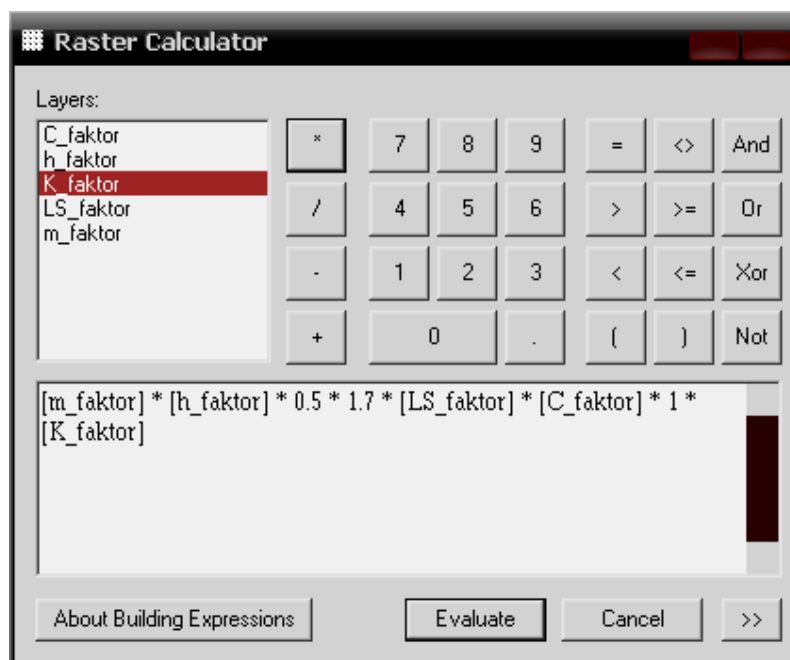
Faktory h a m

Množstvo vody, ktoré vznikne počas topenia snehu, sa určuje na základe dát o vodnej hodnote snehu, ktoré mi boli poskytnuté z ČHMÚ. Každý stanici v povodí Ostravice prislúchali vo vybranej epizóde od 6.3. do 27.3. 2006 štyri merania vodnej hodnoty snehu. Na niektorých staniciach sa vyskytli aj doplnkové merania okrem pravidelných meraní. Dáta bolo potrebné pripraviť na interpoláciu. Interpolované dáta mi boli poskytnuté vedúcim práce. Súčasťou dát boli dva rastre s interpolovanými vodnými hodnotami snehu pre 6.3. a 27.3. 2006. Odčítaním rastra s vodnou hodnotou pre koniec epizódy od rastra s vodnou hodnotou pre začiatok epizódy som dostal raster, ktorý vyjadruje h-faktor, teda množstvo vody, ktoré vzniklo počas topenia snehu. Tento raster bolo ešte potrebné predeliť hodnotou 10, pretože SVH sa meria v mm a h-faktor sa určuje v cm. Rozloženie hodnôt h-faktoru je možné vidieť v mape 10 v mapovej prílohe.

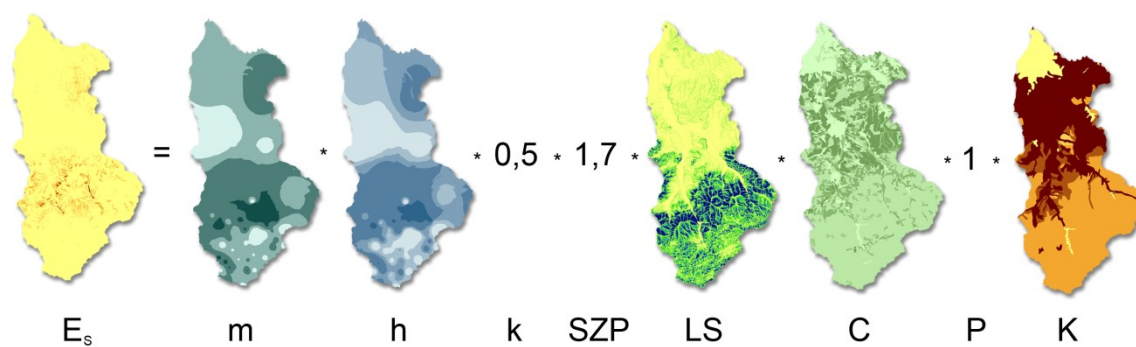
Rýchlosť topenia snehu sa určuje z množstva vody vzniknutého pri topení snehu. Raster s hodnotami h-faktoru sa jednoducho predelil počtom dní v epizóde (21 dní) a tým v raster s hodnotami m-faktoru. Rozloženie hodnôt m-faktoru je možné vidieť v mape 11.

Výpočet rovnice RUSLE

Za posledný krok modelovania erózie spôsobenej topením snehu pomocou upravenej rovnice RUSLE je možné považovať vynásobenie jednotlivých faktorov vstupujúcich do tejto rovnice. Výsledkom násobenia bol raster s hodnotami priemernej ročnej straty pôdy v území povodia rieky Ostravice. Samotný výpočet bol vykonaný v nástroji Raster Calculator v programe ArcGIS Desktop 9.3 podľa rovnice $E_s = m \cdot h \cdot k \cdot SZP \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot K$. Tento nástroj ako aj grafické znázornenie výpočtu je možné vidieť na obrázkoch 14 a 15.



Obrázok 14: Výpočet upravenej rovnice RUSLE v nástroji Raster Calculator



Obrázok 15: Grafické znázornenie upravenej rovnice RUSLE

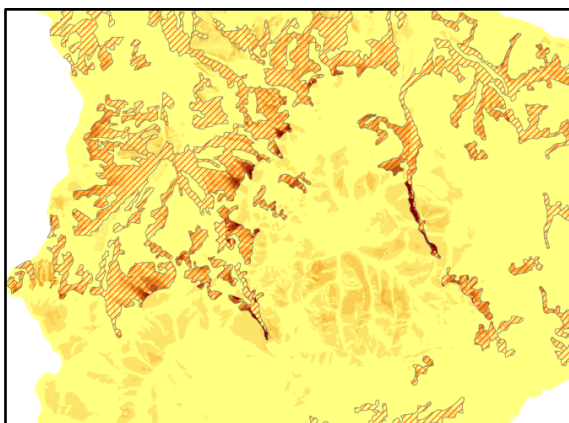
9 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Výsledok upravenej rovnice RUSLE bolo potrebné ešte pred samotnou analýzou klasifikovať. Klasifikáciu je možné vidieť v tabuľke 11. Klasifikácia je odvodená z ohrozenia vodnou eróziou v ČR, pretože tento druh erózie dosahuje podobnú intenzitu ako vodná erózia. Prvú kategóriu bolo potrebné rozdeliť do troch menších kategórií, pretože vo výslednej mape nebolo možné vidieť viaceré oblasti, kde bol odnos pôdy menší ako $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Tabuľka 11: Klasifikácia ohrozenia pôdy eróziou [38]

Ohrozenie eróziou	Odnos pôdy [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]
veľmi slabé	do 1,5
slabé	1,6 - 3,0
stredné	3,1 - 4,5
silné	4,6 - 6,0
veľmi silné	6,1 - 7,5
extrémne	7,5 a viac

Z výsledkov rovnice (mapa 12) je možné vidieť, že väčšina územia povodia rieky Ostravice je ohrozená eróziou spôsobenou topením snehu veľmi slabo. Pod túto kategóriu patrí až 98,44 % plochy územia. Na ostatné kategórie pripadá menej ako 1 %. K najintenzívnejšiemu odnosu dochádza v Beskydskej časti povodia. Jednou z oblastí, kde sú pôdy až extrémne ohrozené, je okolie obcí Frýdlant nad Ostravicí a Ostravice. K najväčšiemu ohrozeniu dochádza v tejto oblasti prevažne na poľnohospodárskych pôdach pod Lysou horou a Smrkom. K vysokej intenzite môže prispievať aj splav pôdných častíc z Lysej hory a Smrku, ktoré končia práve na poľnohospodárskych pôdach pod týmito pohoriami vo forme splavenín. K extrémne ohrozenej patrí aj pôda pri nádrži Šance, čo môže spôsobovať zanášanie nádrže splaveninami a znehodnocovanie vody. Poslednou oblasťou s týmto stupňom ohrozenia je malý úsek poľnohospodárskej pôdy medzi Lysou horou a vrchom Travný pri obci Krásná. Z výsledkov je jasne vidieť, že tento druh erózie najviac ohrozuje poľnohospodársku pôdu (obrázok 16).



Obrázok 16: Ohrozenie poľnohospodárskej pôdy (šrafované plochy) eróziou spôsobenou topením snehu

10 ZÁVER

Hlavným cieľom bakalárskej práce bolo zhodnotiť vplyv a ohrozenie pôdy eróziou spôsobenou topením snehu v danom území pomocou rovnice RUSLE upravenej pre daný druh erózie. Štúdium problematiky tohto druhu erózie aj samotného modelu bolo náročné. Bolo to hlavne preto, že erózia spôsobená topením snehu nie je veľmi známa a teda nie je k dispozícii veľké množstvo zdrojov a literatúry. Rovnaká situácia bola pri hľadaní informácií o upravenej rovnici RUSLE a jej použití. Nedostatok informácií je spôsobený najmä tým, že väčšina erózných modelov sa zaoberá dažďovou eróziou a nedokáže zohľadniť eróziu, ku ktorej dochádza pri topení snehu.

Z hľadiska dostupnosti potrebných dát bola situácia opačná. Všetky dáta potrebné pre výpočet rovnice, alebo pre vytvorenie mapových výstupov mi boli poskytnuté buď inštitútom geoinformatiky, alebo inými inštitúciami zaoberajúcimi sa danou problematikou.

Aj napriek nie veľkému množstvu informácií bola daná problematika spracovaná dôkladne, čo potvrdzujú aj výsledky. Dokazujú fakt, ktorý vyplýva z definície erózie spôsobenej topením snehu. Tým faktom je to, že tento druh erózie najviac poškodzuje poľnohospodársku pôdu. Je teda možné tvrdiť, že výsledky modelovania sú správne. Model poskytuje detailné výsledky ukazujúce intenzitu erózie v danom území. Presnosť a detailnosť výsledkov však závisí na presnosti vrstiev, ktoré vstupujú do modelu.

Hlavným prínosom práce je zhodnotenie erózie spôsobenej topením snehu na území rieky Ostravice a určenie stavu ohrozenia pôdy touto eróziou. Pri dostupnosti a správnom zhodnotení vstupov je možné tento model použiť pre ľubovoľné povodie.

ZOZNAM ZDROJOV

- [1] BATHURST, J. C. ; COOLEY, K. R. Use of the SHE hydrological modelling system to investigate basin response to snowmelt at Reynolds Creek, Idaho. *Journal of Hydrology*. 1996, 175, s. 181-211. Dostupný také z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImg&_imagekey=B6V6C-45Y6H3K-C-2&_cdi=5811&_user=822117&_pii=S0022169496800114&_origin=gateway&_coverDate=02%2F29%2F1996&_sk=998249998&view=c&wchp=dGLbVtb-zSkWb&md5=86ac31f2032bb206e190ee60b10a9af3&ie=/sdataarticle.pdf>
- [2] BOARDMAN, John; FAVIS-MORTLOCK, David. *Modelling soil erosion by water*. [s.l.] : Springer, 1998. 531 s. ISBN 3-540-64034-7
- [3] BOBÁL, Peter, et al. Possibilities of snowmelt runoff modelling in Beskydy mts. catchments., 2010. s. 10.
- [4] BOTTERWEG, Peter, et al. The EUROSEM-GRIDSEM modeling system for erosion analyses under different natural and economic conditions. *Ecological Modelling*. 1998, vol. 108, s. 115-129 . Dostupný také z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImg&_imagekey=B6VBS-3VF4NDG-26-1&_cdi=5934&_user=822117&_pii=S0304380098000234&_origin=gateway&_coverDate=05%2F01%2F1998&_sk=998919998&view=c&wchp=dGLbVzb-zSkWb&md5=dca058634e69c920c8aa3c2dc8b21331&ie=/sdataarticle.pdf>
- [5] BROŠCH, Otto. *Povodí Odry*. Ostrava : ANAGRAM, 2005. 324 s. ISBN 80-7342-048-1
- [6] CABLÍK, Jan; JŮVA, Karel. *Protierozní ochrana půdy*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1963. 324 s
- [7] DEWALLE, David R.; RANGO, Albert. *Principles of snow hydrology*. Cambridge : Cambridge University Press, 2008. 403 s. ISBN 978-0-511-41400-8
- [8] FULAJTÁR, Emil; JANSKÝ, Libor. *Vodná erózia pôdy a protierozná ochrana*. Bratislava : Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy , 2001. 310 s. ISBN 80-85361-85-X
- [9] HRÍBIK, M.; ŠKVARENINA, J. Vplyv porastovej mikroklimy klimaxovej smrečiny na ukladanie a dynamiku snehovej pokrývky na výskumnej ploche Červenec - TANAP v sezónach 2008/09 a 2009/10. In . *Mikroklima a mezoklima krajinných štruktúr a antropogenných prostredí. Skalní mlýn, 2. – 4.2. 2011 : Sborník příspěvků z vědecké konference*. Zvolen : Katedra přírodního prostředí, Lesnická fakulta, TU vo Zvolene , 2011. s. 13. ISBN 978-80-86690-87-2
- [10] HRÍBIK, Matúš; ŠKVARENINA, Jaroslav. Vplyv bukového a smrekového lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob. In „*Klima lesa*“, *Křtiny 11. – 12.4.2007*. [s.l.] : [s.n.], 2007. s. 13. ISBN 978-80-86690-40-7
- [11] JAMBOR, Pavel ; ILAVSKÁ, Blanka. *Metodika protierozného obrábania pôdy*. Bratislava : VÚPÚ, 1998. 70 s. ISBN 80-85361-46-9
- [12] JANEČEK, Miloslav, et al. . *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vyd. Praha : ISV nakladatelství, 2002. 202 s. ISBN 85866-85-8
- [13] KLIMENT, Zdeněk; KADLEC, Jiří; VYSLOUŽILOVÁ, Barbora. Erozní ohrožení a jeho změny v povodí Opavy po soutok s Moravicí. In *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha : Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta Katedra fyzické geografie a geoekologie, 2007. s. 199 - 210. Dostupné z WWW:

- <http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/niva/niva_kliment_kadlec_vyslouzilo.ova.pdf>
- [14] Meteorologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR : Část A . In *Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR* . [s.l.] : [s.n.], 2006. s. 68. Dostupné z WWW: <<http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/casta.pdf>>
- [15] OLLESCH, Gregor, et al. Modelling of snowmelt erosion and sediment yield in a small low-mountain catchment in Germany. *CATENA*. 2006, vol. 68, s. 161-176. Dostupný také z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImg&_imagekey=B6VCG-4JXRXBj-2-13&_cdi=5954&_user=822117&_pii=S0341816206000774&_origin=gateway&_coverDate=12%2F31%2F2006&_sk=999319997&view=c&wchp=dGLbVlb-zSkzS&md5=bdcfd8c1eb7b9e50420800bbac80fde&ie=/sdarticle.pdf>
- [16] POKLADNÍKOVÁ, Hana; STŘEDA, Tomáš. Vliv klimatických podmínek na intenzitu eroze způsobené táním sněhu. In *12. stretnutie snehárov organizované Technickou univerzitou vo Zvolene 13.-15.3.2006 Telgárt : Zborník zo seminára*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2007. s. 166.
- [17] POKLADNÍKOVÁ, Hana; STŘEDA, Tomáš; ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. Sníh a eroze zemědělské půdy. In *XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov, Šumava, Kubova Huť 18. – 20. 3. 2009 : Sborník příspěvků ze semináře*. Praha : ČZU, Fakulta životního prostředí, 2009. s. 119.
- [18] RENARD, K. G.; FERREIRA, F. A. RUSLE model description and database sensitivity. In *. Journal of environmental quality*. [s.l.] : USDA, 1993. s. 466. Dostupné z WWW: <<http://ddr.nal.usda.gov/dspace/bitstream/10113/6024/1/IND20366977.pdf>>
- [19] SINGH, Pratap; SINGH, Vijay P. . *Snow and glacier hydrology*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers , 2001. 743 s. ISBN 0-7923-6767-7
- [20] TOMAN, František; PODHRÁZSKÁ, Jana. Vliv klimatických podmínek na vznik eroze způsobené táním sněhu . In *XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.-4. září 2002*. [s.l.] : [s.n.], 2002. s. 456-464. ISBN 80-85813-99-8
- [21] VILČEK, Jozef. *Modely využitia poľnohospodárskych pôd Slovenska*. Bratislava : Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy , 1999. 144 s. ISBN 0-85361-58-2
- [22] WEIGERT, Astrid, et al. Simulation of snowmelt erosion using the EROSION 3D model. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2003, vol. 166, s. 128–130. Dostupný také z WWW: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.200390005/pdf>>
- [23] ZACHAR, Dušan. *Soil erosion : Developements in Soil Science 10*. Bratislava : VEDA, 1982. 547 s. ISBN 0-444-99725-3
- [24] *ArcGIS Desktop - ARCDATA PRAHA* [online]. 2011 [cit. 2011-03-1]. ARCDATA PRAHA GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY. Dostupné z WWW: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/esri/arcgis-desktop/>>
- [25] Bonitovaná půdně ekologická jednotka. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bonitovaná_půdně_ekologická_jednotka>
- [26] *CORINE Land Cover 2006 (2007-2008)* [online]. 2008 [cit. 2011-04-16]. Cíl projektu. Dostupné z WWW: <http://www.cenia.cz/_C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7T3H42O2&cat=goals>
- [27] Erosion. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Erosion>>

- [28] Eroze. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Eroze>>
- [29] *GRASS GIS: About* [online]. 2010 [cit. 2011-02-27]. GRASS: Introduction. Dostupné z WWW: <<http://grass.fbk.eu/intro/general.php>>
- [30] Ostravice (řeka). In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ostravice_\(řeka\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ostravice_(řeka))>
- [31] *Ostravice_cela* [online]. 2000 [cit. 2011-03-15]. Rámcová charakteristika přírodních a socioekonomických poměrů. Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/projekty/flora_a_fauna/Viteze/ostravice_cela.html>
- [32] *Plán oblasti povodí Odry* [online]. 2007 [cit. 2011-03-15]. Všeobecné charakteristiky oblasti povodí. Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/a-popis/a-1.html#a_1_2>
- [33] *Ťažby v ochranných lesoch NAPANT / Lesoochranské zoskupenie VLK* [online]. 2009 [cit. 2011-04-16]. Ťažby v ochranných lesoch NAPANT. Dostupné z WWW: <<http://www.wolf.sk/sk/ochranne-lesy-napant>>
- [34] *User:Leyo/gallery - Wikimedia Commons* [online]. 2009 [cit. 2011-04-22]. User:Leyo/gallery. Dostupné z WWW: <<http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Leyo/gallery>>
- [35] *Úvodné informácie o pôde; EEA* [online]. 2002 [cit. 2011-02-26]. Pôda. Dostupné z WWW: <<http://www.eea.europa.eu/sk/themes/soil>>
- [36] *Vodní eroze - zajímavosti* [online]. 2006 [cit. 2011-03-24]. RUSLE. Dostupné z WWW: <<http://eroze.sweb.cz/rusle.htm>>
- [37] *Vodní eroze - zajímavosti* [online]. 2006 [cit. 2011-03-24]. Vodní eroze - důsledky. Dostupné z WWW: <<http://eroze.sweb.cz/dusledky.htm>>
- [38] *Vodní eroze - zajímavosti* [online]. 2006 [cit. 2011-03-24]. Vodní eroze. Dostupné z WWW: <<http://eroze.sweb.cz/index.htm>>
- [39] *What is Snow Water Equivalent?* [online]. 2007 [cit. 2011-04-1]. What is Snow Water Equivalent?. Dostupné z WWW: <<http://www.or.nrcs.usda.gov/Snow/about/swe.html>>

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Charakteristiky klimatických oblastí [32]	16
Tabuľka 2: Priemerné ročné a povodňové storočné prietoky vo vybraných profiloch niektorých tokov povodia Ostravice v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, neovplyvnené a ovplyvnené údolnými nádržami [5]	17
Tabuľka 3: Klasifikácia erózie podľa aktívnych faktorov [23]	22
Tabuľka 4: Priemerné množstvo naplavenín v slovenských riekach [kg s^{-1}] [23]	26
Tabuľka 5: Hodnota faktoru K pre jednotlivé HPJ [12]	33
Tabuľka 6: Strata pôdy spôsobená eróziou na svahoch rôznych sklonov v Azerbajdžane [23]	35
Tabuľka 7: Hodnoty exponentu p pre rôzne sklony svahu [8]	36
Tabuľka 8: Hodnoty faktoru P [12]	37
Tabuľka 9: Hodnoty C-faktoru pre jednotlivé typy vegetačného krytu	47
Tabuľka 10: Hodnoty K-faktoru pre jednotlivé pôdne typy podľa MKSP	48
Tabuľka 11: Klasifikácia ohrozenia pôdy eróziou [38]	52

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1: Priemerné teploty na vybraných staniciach v období od 6.3. do 27.3. 2006	41
Graf 2: Úhrn zrážok na vybraných staniciach v období od 6.3. do 27.3. 2006	42
Graf 3: Výška snehu na klimatologických staniciach v povodí rieky Ostravice v období od 6.3. do 27.3. 2006	43
Graf 4: Vodná hodnota snehu na klimatologických staniciach v povodí rieky Ostravice v období od 6.3. do 27.3. 2006	43
Graf 5: Teploty pôdy pre stanice Lysá hora, Lučina a Ostrava - Poruba v hĺbke 5 cm pre február a marec 2006	44
Graf 6: Teploty pôdy pre stanice Lysá hora, Lučina a Ostrava - Poruba v hĺbke 5 cm pre február a marec 2006	45

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Správa z klimatologickej stanice s údajmi o výške a vodnej hodnote snehu.....	13
Obrázok 2: Archív oddelenia klimatológie a meteorológie ČHMÚ Ostrava - Poruba.....	13
Obrázok 3: Správa s hodnotami teploty pôdy.....	14
Obrázok 4: Archív oddelenia klimatológie a meteorológie ČHMÚ Ostrava - Poruba.....	14
Obrázok 5: Schéma triedenia erózných procesov podľa [8].....	22
Obrázok 6: Príklad erózie spôsobenej topením snehu [34].....	24
Obrázok 7: Príklad erózie spôsobenej topením snehu [34].....	25
Obrázok 8: Intercepcia ihličatým lesom [10].....	38
Obrázok 9: Intercepcia listnatým lesom [10].....	38
Obrázok 10: Priemerná denná teplota a úhrn zrážok v ČR v zime 2005/2006 [14].....	40
Obrázok 11: Výsledok intercepce ihličnatým lesom [10].....	46
Obrázok 12: Výsledok intercepce listnatým lesom [10].....	46
Obrázok 13: Okno nástroja r.watershed	49
Obrázok 14: Výpočet upravenej rovnice RUSLE v nástroji Raster Calculator.....	51
Obrázok 15: Grafické znázornenie upravenej rovnice RUSLE.....	51
Obrázok 16: Ohrozenie poľnohospodárskej pôdy (šrafované plochy) eróziou spôsobenou topením snehu.....	52

ZOZNAM PRÍLOH

Mapa 1: Lokalizácia povodia reky Ostravice v ČR.....	61
Mapa 2: Všeobecná mapa povodia rieky Ostravice.....	62
Mapa 3: Vodná hodnota snehu v povodí rieky Ostravice 6.3. a 27.3. 2006.....	63
Mapa 4: Hodnoty C-faktoru v povodí rieky Ostravice.....	64
Mapa 5: Jednotlivé typy krajinného krytu v povodí rieky Ostravice.....	65
Mapa 6: Hodnoty K-faktoru v povodí rieky Ostravice.....	66
Mapa 7: Pôdne typy v povodí rieky Ostravice	67
Mapa 8: Hodnoty LS-faktoru v povodí rieky Ostravice	68
Mapa 9: Výškové pomery v povodí rieky Ostravice.....	69
Mapa 10: Hodnoty h-faktoru v povodí rieky Ostravice.....	70
Mapa 11: Hodnoty m-faktoru v povodí rieky Ostravice.....	71
Mapa 12: Priemerná ročná strata pôdy a ohrozenie pôdy eróziou spôsobenou topením snehu v povodí rieky Ostravice	72

MAPOVÁ PRÍLOHA